

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 11 月 13 日 (3.11.2014)



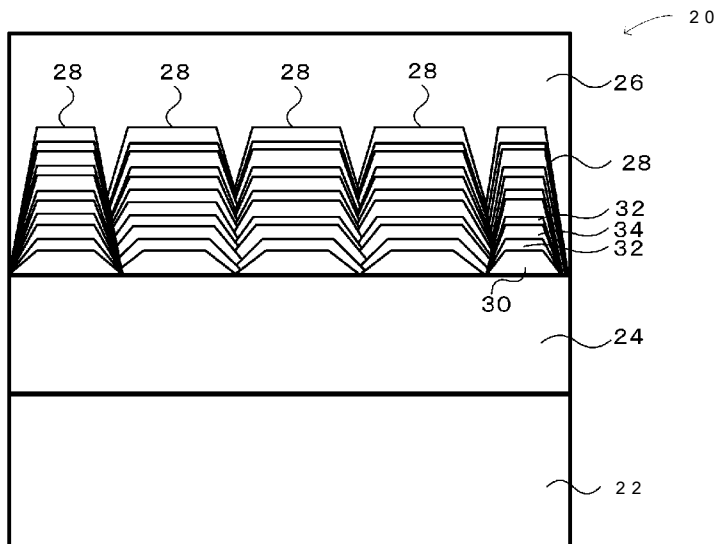
(10) 国際公開番号
WO 2014/181558 A1

- (51) 国際特許分類 :
H01L 33/22 (2010.01) H01L 33/12 (2010.01)
H01L 21/205 (2006.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 14/052670
- (22) 国際出願日 : 2014 年 2 月 5 日 (05.02.2014)
- (25) 国際出願の言語 : 日本語
- (26) 国際公開の言語 : 日本語
- (30) 優先権データ :
特願 2013-099378 2013 年 5 月 9 日 (09.05.2013) JP
- (71) 出願人 : 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者 : 杉山 正和 (SUGIYAMA, Masakazu); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). マニッシュマシュー (MATHEW, Manish); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 中野 義昭 (NAKANO, Yoshiaki); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). ソダーバンル ハツサネット (SODABANLU, Hassanet); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人 : 特許業務法人アイテック国際特許事務所 (ITEC INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒141003 1 東京都品川区西五反田2-19-3 五反田第一生命ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: LIGHT EMITTING DIODE ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称 : 発光ダイオード素子およびその製造方法



(57) Abstract: An n-type GaN layer (24) comprising n-type gallium nitride (GaN) is formed on a sapphire substrate (22), and a plurality of island-shaped layered structures (28), which are formed by a plurality of layers of AlN base layers (30) comprising aluminum nitride (AlN), AlN layers (34), and InGaN layers (32) comprising indium gallium nitride (InGaN) and which have randomly distributed sizes, are provided between the n-type GaN layer (24) and a p-type GaN layer (26) comprising p-type GaN. Because light of mutually differing wavelengths is produced by the layered structures (28), light can be produced over a wider range of wavelengths.

(57) 要約 :

[続葉有]



A1

2014/181



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

サファイア基板 22 上に n 型の窒化ガリウム (GaN) からなる n 型 GaN 層 24 を形成し、n 型 GaN 層 24 と p 型の GaN からなる p 型 GaN 層 26 との間に、窒化アルミニウム (AlN) からなる AlN ベース層 30 と、AlN 層 34 とインジウム窒化ガリウム (InGaN) からなる InGaN 層 32 とが複数積層されてなりサイズが互いにランダムにばらついた複数の島状の積層構造体 28 とを設けた。各積層構造体 28 がそれぞれ異なる波長の光を発するから、より広い波長領域の光を発することができる。

明 細 書

発明の名称 : 発光ダイオード素子およびその製造方法

技術分野

- [0001] 本発明は、発光ダイオード素子およびその製造方法に関し、詳しくは、第1導電型の窒化ガリウムにより形成された第1導電型半導体層と、第1導電型と異なる第2導電型の窒化ガリウムにより形成された第2導電型半導体層と、を備える発光ダイオード素子およびその製造方法に関する。

背景技術

- [0002] 従来、この種の発光ダイオード素子としては、GaN（窒化ガリウム）層上に、高インジウム組成のInGaN（インジウム窒化ガリウム）ナノ構造を有するInGaN量子井戸層を備えるものが提案されている（例えば、特許文献1参照）。この発光ダイオード素子では、こうした構成により、発光スペクトルの430nm付近に比較的鋭いピークがあるクールホワイトの光を発することができる。

先行技術文献

非特許文献

- [0003] 非特許文献1 : C. B. Soh, W. Liu, J. H. Teng, S. Y. Chow, S. S. Ang et al. "Cool white 111-nitride light emitting diodes based on phosphor-free indium-rich InGaN nanostructures", Applied Physics Letters 92, 261 909 (2008)

発明の概要

- [0004] しかしながら、上述の発光ダイオード素子では、クールホワイト、つまり、比較的青白い光しか発することができない。発光ダイオード素子の用途によっては、より長波長側の赤や黄などの色味が帯びた光が必要とされる場合や、より広い波長領域の光を発することが望まれる場合がある。
- [0005] 本発明の発光ダイオード素子およびその製造方法は、より広い波長領域の光を発することを主目的とする。

[0006] 本発明の発光ダイオード素子およびその製造方法は、上述の主目的を達成するために以下の手段を採った。

[0007] 本発明の発光ダイオード素子は、

第1導電型の窒化ガリウムにより形成された第1導電型半導体層と、前記第1導電型と異なる第2導電型の窒化ガリウムにより形成された第2導電型半導体層と、を備える発光ダイオード素子であって、

前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に形成され、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成されたベース層に、インジウム窒化ガリウムにより形成された第1層とアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成された第2層とが積層されてなり、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体を

を備えることを要旨とする。

[0008] こうした本発明の発光ダイオード素子では、第1導電型半導体層と第2導電型半導体層との間に電圧を印加すると、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体のそれぞれが発光する。これにより、比較的広い波長領域の光を発することができる。ここで、第1層と第2層とは交互に複数積層されていてもよい。

[0009] この本発明の発光ダイオード素子において、前記第2層は、前記第1層より薄く形成されてなるものとすることもできる。

[0010] また、本発明の発光ダイオード素子において、前記第1導電型半導体層と前記ベース層との間および前記ベース層と前記第1層との間および前記第1層と前記第2層との間、の少なくとも一つの間、に、窒化ガリウムにより形成された歪緩和層を有するものとすることもできる。こうした歪緩和層により、発光する光の波長を調整することができる。この場合において、前記積層構造体は、前記歪緩和層が露出しており、前記積層構造体と前記第2導電型半導体層との間にアルミニウム窒化ガリウムにより形成された第2歪緩和層

を備えるものとすることもできる。

[001 1] 歪緩和層を備える態様の本発明の発光ダイオード素子において、前記歪緩和層は、前記第 1 層より薄く形成されてなるものとすることもできる。

[001 2] また、本発明の発光ダイオード素子において、 n 個 (n は値 2 以上の整数) のバリア層と、前記 n 個のバリア層のうちの 2 つのバリア層の間に前記バリア層よりバンドギャップが小さい材料により形成された $(n - 1)$ 個の量子井戸層と、を有し、前記積層構造体と前記第 1 導電型半導体層との間または前記積層構造体と前記第 2 導電型半導体層との間に形成された量子井戸構造体を備えるものとすることもできる。こうすれば、より強い強度の光を発することができる。この場合において、前記積層構造体は、前記第 1 層と前記第 2 層とが交互に 1 回または 2 回積層されてなり、前記 n は、値 2 または値 3 であるものとすることもできる。

[001 3] 本発明の発光ダイオード素子の製造方法は、

第 1 導電型の窒化ガリウムにより形成された第 1 導電型半導体層と、第 2 導電型の窒化ガリウムにより形成された第 2 導電型半導体層と、を備える発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記第 1 導電型半導体層上に、有機金属気相成長法を用いて、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなるベース層を形成するベース層形成工程と、

前記形成したベース層上に、有機金属気相成長法を用いてインジウム窒化ガリウムからなる第 1 層を形成する工程と有機金属気相成長法を用いてアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなる第 2 層を形成する工程とを行なつて、前記第 1 層と前記第 2 層とが積層された積層構造を形成する積層構造形成工程と、

前記形成した積層構造上に、有機金属気相成長法を用いて、第 2 導電型の窒化ガリウムにより第 2 導電型半導体層を形成する第 2 導電型半導体層形成

工程と

を備えることを要旨とする。

[0014] この本発明の発光ダイオード素子の製造方法では、有機金属気相成長法を用いて、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなるベース層を形成し、形成したベース層上に、有機金属気相成長法を用いてインジウム窒化ガリウムからなる第1層を形成する工程と有機金属気相成長法を用いてアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなる第2層を形成する工程とを行なって、第1層と第2層とが積層された積層構造を形成することにより、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体を形成することができる。サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体を形成することができるのは、ベース層が第1導電型半導体層から引っ張り応力を受けることによって、サイズがランダムにばらついた微少な領域に分割されるからであると考えられる。こうした方法により、リソグラフィやエッチング等を用いて形成するものと比較して、第1導電型半導体層と第2導電型半導体層との間に形成され、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成されたベース層にインジウム窒化ガリウムにより形成された第1層とアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成された第2層とが積層されてなり、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体を備える発光ダイオード素子、即ち、比較的広い波長領域の光を発することができる発光ダイオード素子をより簡易な方法で製造することができる。ここで、積層構造形成工程では、第1層を形成する工程と第2層を形成する工程とを交互に複数回繰り返して、第1層と第2層とが交互に複数積層された積層構造を形成する工程であるものとしてもよい。

[0015] こうした本発明の発光ダイオード素子の製造方法において、前記積層構造

形成工程は、前記第1導電型半導体層と前記ベース層との間および前記ベース層と前記第1層との間および前記第1層と前記第2層との間、の少なくとも一つの間、有機金属気相成長法を用いて、窒化ガリウムにより形成された歪緩和層を形成する工程を有する工程であるものとすることもできる。こうした歪緩和層により、第2層に作用する応力を緩和し、第2層が分割されるサイズを調整することにより、積層構造体のサイズを調整し、発する光の波長を調整することができると考えられる。この場合において、前記積層構造形成工程は、前記歪緩和層上に、有機金属気相成長法を用いて、アルミニウム窒化ガリウムにより第2歪緩和層を形成する工程を有し、第2導電型半導体層形成工程は、前記第2歪緩和層上に、有機金属気相成長法を用いて、前記第2導電型半導体層を形成する工程であるものとすることもできる。

[0016] また、本発明の発光ダイオード素子の製造方法において、前記ベース層形成工程および前記積層構造形成工程における前記有機金属気相成長法は、750℃以上800℃以下の温度で結晶成長を行なう方法であるものとすることもできる。こうすれば、より品質のよい発光ダイオード素子を製造することができる。

[0017] さらに、本発明の発光ダイオード素子の製造方法において、前記ベース層形成工程の前または前記積層構造形成工程の後に、 n 個（ n は値2以上の整数）のバリア層と、前記バリア層の間に前記バリア層よりバンドギャップが小さい材料により形成された（ $n - 1$ ）個の量子井戸層と、を有する量子井戸構造体を形成する量子井戸構造体形成工程を備えるものとしてもよい。こうすれば、より強い強度の発光ダイオード素子を製造することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の一実施例としての発光ダイオード素子20の要部の断面の概略を示す断面図である。

[図2]発光ダイオード素子20の積層構造体28が n 型GaN層上に配置されている様子の概略を示す平面図である。

[図3]積層構造体28の構造の一例を説明するための説明図である。

[図4] n型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間の電圧とn型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図である。

[図5] n型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間に流れる電流と発光ダイオード素子20が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図6] 発光ダイオード素子の製造工程の一例を説明するためのフローチャートである。

[図7] 各層を形成するときにより用いられる有機金属気相成長法における反応ガスの分圧の一例を示す表である。

[図8] 第2実施例の発光ダイオード素子120の積層構造体128の構造の一例を説明するための説明図である。

[図9] 発光ダイオード素子120においてn型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間に印加した電圧とn型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図である。

[図10] 発光ダイオード素子120において、n型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層26との間に流れる電流と発光ダイオード素子120が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図11] 発光ダイオード素子120の製造工程の一例を説明するためのフローチャートである。

[図12] Ga_{0.4}N歪緩和層136を形成するときにより用いられるMOVPE法におけるTMG、TMA、TEG、TMI、Cp₂Mg、NH₃、SiH₄の分圧の一例を示す表である。

[図13] 本発明の第3実施例としての発光ダイオード素子220の要部の断面の概略を示す断面図である。

[図14] 図13における領域Aの拡大図である。

[図15] 積層構造体228の構成の一例を説明するための説明図である。

[図16] 発光ダイオード素子220においてn型Ga_{0.4}N層24とp型Ga_{0.6}N層

26 との間に印加した電圧と n 型 GaN 層 24 と p 型 GaN 層 26 との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図である。

[図 17] 発光ダイオード素子 220 において、n 型 GaN 層 24 と p 型 GaN 層 26 との間に流れる電流と発光ダイオード素子 220 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図 18] 発光ダイオード素子 220 の製造工程の一例を説明するためのフローチャートである。

[図 19] 発光ダイオード素子 220 の各層を形成するときに用いられる MOVPE 法における TMG, TMA, TEG, TMI, Cp2Mg, NH₃, SiH₄ の分圧の一例を示す表である。

[図 20] 本発明の第 4 実施例としての発光ダイオード素子 420 の要部の断面の概略を示す断面図である。

[図 21] 発光ダイオード素子 420 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図 22] n 型 GaN 層 24 と p 型 GaN 層 26 との間に流れる電流と発光ダイオード素子 420 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図 23] 発光ダイオード素子 420 の製造工程の一例を説明するためのフローチャートである。

[図 24] 各層を形成するときに用いられる MOVPE 法における TMG, TMA, TEG, TMI, Cp2Mg, NH₃, SiH₄ の分圧の一例を示す表である。

[図 25] 変形例の発光ダイオード素子 520 の要部の断面の概略を示す断面図である。

[図 26] 変形例の発光ダイオード素子 520 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図 27] 変形例の発光ダイオード素子 520 において n 型 GaN 層 24 と p 型 GaN 層 26 との間に流れる電流と発光ダイオード素子 520 が発する光の

波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。

[図28] 変形例の発光ダイオード素子620の要部の断面の概略を示す断面図である。

[図29] 変形例の発光ダイオード素子720の要部の断面の概略を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 次に、本発明を実施するための形態を実施例を用いて説明する。

[0020] 図1は本発明の一実施例としての発光ダイオード素子20の要部の断面の概略を示す断面図であり、図2は発光ダイオード素子20の積層構造体28がn型Ga_{0.9}N層24上に配置されている様子の概略を示す平面図であり、図3は積層構造体28の構造の一例を説明するための説明図である。発光ダイオード素子20は、図1〜図3に示すように、サファイアから形成された(0001)面のサファイア基板22上に形成されており、窒化ガリウム(GaN)から形成され厚さが25nmの核発生層(図示せず)と、不純物がドーピングされていないGa_{0.9}Nから形成され厚さ300nmのGa_{0.9}Nノンドープ層(図示せず)と、n型のGa_{0.9}Nにより形成され厚さが3.7μm程度のn型Ga_{0.9}N層24と、p型のGa_{0.9}Nにより形成され厚さが130nmのp型Ga_{0.9}N層26と、n型Ga_{0.9}N層24とp型Ga_{0.9}N層26との間に形成され厚さが40nmでサイズが互いにランダムにばらつき側面が斜面となった複数の島状の積層構造体28とを備える。

[0021] 積層構造体28は、窒化アルミニウム(AlN)により形成されたAlNベース層30に、インジウム窒化ガリウム(InGa_{0.9}N)により形成されたInGa_{0.9}N層32とAlNにより形成されたAlN層34とが交互に複数積層され、最上層がAlN層34になるよう形成されている。各積層構造体28は、図2、図3に示すように、サファイア基板22の結晶面である(0001)面内において概ね1μm未満のランダムなサイズに形成されており、各積層構造体28の側面のAl〜層34は、(0001)面とは異なる結晶面となっている。

[0022] 続いて、こうして構成された発光ダイオード素子20の動作について説明する。図4は、n型GaN層24とp型GaN層26との間の電圧とn型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図である。発光ダイオード素子20は、図示するようにn型GaN層24とp型GaN層26との間の電圧が3.5V以上となると急減に電流が流れ始めるダイオードの特性を備えていることがわかる。図5は、n型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流と発光ダイオード素子20が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。発光ダイオード素子20は、図示するように、波長500nmから700nm程度の比較的広い波長領域の光、即ち、全体として白色の光を発している。n型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流が大きくなると、強度が強くなり、波長570nm付近にピークが生じて光が黄色味を帯びた白色となる。このように、白色の光を発するのは、複数の積層構造体28がサイズがランダムに形成されており、積層構造体28の側面の結晶面がそれぞれが異なるため、複数の積層構造体28のそれぞれが異なる波長で発光しているからだと考えられる。こうした構成により、より広い波長領域の光を発することができる。

[0023] 続いて、発光ダイオード素子20の製造方法について説明する。図6は発光ダイオード素子の製造工程の一例を説明するためのフローチャートであり、図7は各層を形成するときに用いられる有機金属気相成長(MOVPE)法におけるトリメチルガリウム(TMGa)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリエチルガリウム(TEGa)、トリエチルインジウム(TMI)、ビスシクロペンタジェチルマグネシウム(Cp₂Mg)、アンモニア(NH₃)、モノシラン(SiH₄)の分圧の一例を示す表である。各層は、MOVPE法にて形成するため、MOVPE法での分圧は表に示すこととし、その他の製造条件について説明する。

[0024] 最初に、サファイア基板22上に、550℃でGaNにより25nmの核発生層23aを形成し、その後温度を1130℃に上昇させて、不純物をド

—ビングしていないGa_{0.9}N_{0.1}により300nmのGa_{0.9}Nノンドープ層23bを形成し、シリコン(Si)がドーピングされたGa_{0.9}Nにより4μmのn型Ga_{0.9}N層24を形成する(工程S100)。このとき、各層を形成しているときの反応容器の圧力は20hPaとする。なお、n型Ga_{0.9}N層24の上面側は、不純物濃度が低い低ドーピングn型Ga_{0.9}N層として形成するものとした。

[0025] 続いて、n型Ga_{0.9}N層24上に、反応容器の圧力を100hPaとして780℃でAlNからなる4nmのAlNベース層30を形成する(工程S110)。こうして形成されるAlNベース層30では、Ga_{0.9}NとAlNとは結晶の大きさが異なるため、引っ張り応力が作用し、微細な溝(幅が広い箇所では数nm程度の溝)が複数形成されて、サファイア基板22の結晶面である(0001)面内において概ね1μm未満のランダムなサイズの領域に分割されると考えられる。このとき、780℃でAlNを成長させるから、結晶品質の低下を抑制することができる。

[0026] こうしてランダムなサイズの領域に分割されたAlNベース層30に、反応容器の圧力を100hPaとして780℃でInGa_{0.5}Nからなる4.2nmのInGa_{0.5}N層32を形成する(工程S120)。780℃でInGa_{0.5}Nを成長させるから、670℃〜730℃程度でInGa_{0.5}Nを形成するものと比較すると、結晶品質の低下を抑制することができる。

[0027] 続いて、反応容器の圧力を100hPaとして780℃でAlNからなる2nmのAlN層34を形成する(工程S130)。こうして形成されたAlN層34は、応力によってはさらに小さい領域に分割される場合もあると考えられる。そして、高さが40nm程度になるまで、工程S120、S130を所定回数(例えば、4回など)繰り返す。こうした工程により、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体28を形成することができる。

[0028] こうして積層構造体28を形成したら、温度を1020℃に上昇させて反応容器の圧力を200hPaとして、マグネシウム(Mg)がドーピングされたGa_{0.9}Nにより厚さ130nmのp型Ga_{0.9}N層26を形成し(工程S14

0)、本製造工程を終了する。こうした方法により、結晶品質の低下を抑制しながら、より広い波長領域の光を発することができる発光ダイオード素子を製造することができる。また、MOVPE法により各層を形成することにより複数の島状の積層構造体28を備える発光ダイオード素子20を形成するから、リソグラフィやエッチング等を用いて形成するものと比較して、より簡易な方法で、より広い波長領域の光を発することができる発光ダイオード素子を製造することができる。

[0029] 以上説明した第1実施例の発光ダイオード素子20では、n型GaN層24とp型GaN層26との間にサイズが互いにランダムにばらつき複数の島状の積層構造体28を備えるから、より広い波長領域の光を発することができる。また、こうした発光ダイオード素子20を製造する際に、780℃以上のMOVPE法を用いて発光ダイオード素子20のAlNベース層30やInGaN層32、AlN層34を形成することにより、結晶品質の低下を抑制しながら、より広い波長領域の光を発することができる発光ダイオード素子を製造することができる。

[0030] 第2実施例の発光ダイオード素子120は、積層構造体128のInGaN層32とAlN層との間にGaN歪緩和層136が形成されている点を除いて、第1実施例の発光ダイオード素子20と同様の構成となっている。したがって、発光ダイオード素子120において、第1実施例の発光ダイオード素子20と同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

[0031] 図8は、第2実施例の発光ダイオード素子120の積層構造体128の構造の一例を説明するための説明図である。積層構造体128は、InGaN層32とAlN層34との間にGaNにより形成され厚みが0.5nmのGaN歪緩和層136を備えている。

[0032] 図9は発光ダイオード素子120においてn型GaN層24とp型GaN層26との間に印加した電圧とn型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図であり、図10は発光ダイオード素子120においてn型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電

流と発光ダイオード素子 120 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。発光ダイオード素子 120 は、図 10 に示すように、波長 480 nm から 700 nm 程度の比較的広い波長領域の光、即ち、白色の光を全体として発しており、n 型 GaN 層 24 と p 型 GaN 層 26 との間に流れる電流が大きくなると、強度が強くなり、波長 540 nm 付近にピークが生じてきて、光の色が緑色を帯びてくる。このように、第 1 実施例の発光ダイオード素子 20 と比較してピークの波長が短波長側へ移動するのは、GaN 歪緩和層 136 により AlN ベース層 30 や AlN 層 34 の引っ張り応力が緩和されて AlN ベース層 30 や AlN 層 34 が大きめのサイズに分割され、各積層構造体 128 のサイズが積層構造体 28 より大きめになるからと考えられる。

[0033] 続いて、発光ダイオード素子 120 の製造工程について説明する。図 11 は、発光ダイオード素子 120 の製造工程の一例を説明するためのフローチャートであり、図 12 は GaN 歪緩和層 136 を形成するときに用いられる MOCVE 法における TMG、TMA、TEG、TMI、Cp2Mg、NH₃、SiH₄ の分圧の一例を示す表である。図 11 に例示した製造工程は、図 6 の発光ダイオード素子 20 の製造工程における工程 S110 と工程 S120 との間、工程 S120、S130 との間に工程 S115 を実行する点を除いて、図 6 の製造工程と同一の工程となっている。したがって、同一の工程に同一の符号を付し、説明を省略する。

[0034] サファイア基板 22 上に n 型 GaN 層 24、AlN ベース層 30 を MOCVE 法を用いて順に形成したら (工程 S100、S110)、次に、AlN ベース層 30 上に、反応容器の圧力を 100 hPa とし 780℃ で GaN からなる 2 nm の GaN 歪緩和層 136 を形成する (工程 S115)。これにより、AlN ベース層 30 に作用している引っ張り応力を緩和することができ、AlN ベース層 30 をより大きなサイズの領域に分割することができると考えられる。

[0035] 続いて、InGaIn 層 32 を形成し (工程 S120)、形成した InGa

N層上に、反応容器の圧力を100hPaとして780℃でGaNからなる2nmのGaN歪緩和層136を形成し(工程S115)、AlN層34を形成し(工程S130)、GaN歪緩和層136を形成し(工程S115)、InGaN層32を形成し(工程S120)、工程S120、S115、S130とを所定回数(例えば、4回など)繰り返し、最後に形成したAlN層34上にp型GaN層26を形成して(工程S140)、本工程を終了する。こうして、AlNベース層30とInGaN層32との間やInGaN層とAlN層34との間にGaN歪緩和層136を形成することにより、短波長側の赤みを帯びた白色の光を発光させることができる。

[0036] 以上説明した第2実施例の発光ダイオード素子120では、AlNベース層30とInGaN層32との間やInGaN層32とAlN層34との間にGaN歪緩和層136を形成することにより、より長波長側の赤みを帯びた白色の光を発光させることができる。

[0037] 第2実施例の発光ダイオード素子120では、AlNベース層30とInGaN層32との間やInGaN層32とAlN層34との間にGaN歪緩和層136を形成するものとしたが、GaN歪緩和層136は、AlNベース層30とInGaN層32との間またはInGaN層32とAlN層34との間のいずれかに形成されているものとしてもよいし、InGaN層32とAlN層34との間の少なくとも一つに形成されているものとしてもよい。

[0038] 第3実施例の発光ダイオード素子220は、AlNベース層30とAlN層34との厚さが異なる点やn型GaN層24とAlNベース層30の間およびInGaN層32とその上のAlN層34との間にGaN歪緩和層236を備えている点および積層構造体228で露出しているGaN歪緩和層236とp型GaN層との間にAlGaN層238を備えている点を除いて、第1実施例の発光ダイオード素子20と同様の構成となっている。したがって、発光ダイオード素子220において、第1実施例の発光ダイオード素子20と同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

[0039] 図 13 は本発明の第 3 実施例としての発光ダイオード素子 220 の要部の断面の概略を示す断面図であり、図 14 は図 13 における領域 A の拡大図であり、図 15 は積層構造体 228 の構成の一例を説明するための説明図である。発光ダイオード素子 220 の A I N ベース層 30 と A I N 層 34 とは、それぞれ厚さが 0.6 nm 程度になるよう形成されている。発光ダイオード素子 220 は、n 型 Ga N 層 24 と A I N ベース層 30 との間に Ga N で形成され厚さが 8.4 nm の Ga N 歪緩和層 236 と、積層構造体 228 の I n Ga N 層 32 とその上の A I N 層 34 との間に Ga N で形成され厚さが 11 nm の Ga N 歪緩和層 236 と、積層構造体 228 で露出している Ga N 歪緩和層 236 と p 型 Ga N 層との間に A I Ga N で形成され厚さが 2.3 nm の A I Ga N 層 238 と、を備えている。こうして形成された Ga N 歪緩和層 236 は、A I N ベース層 30 や A I N 層 34 に作用する応力を緩和するから、第 1、第 2 実施例の発光ダイオード素子 20、120 と比べて、A I N ベース層 30 や A I N 層 34 をより大きなサイズの領域に分割することができると考えられる。図 13、図 14 に示すように、積層構造体 228 の各々の側面がなだらかな斜面となっているのは、A I N ベース層 30 や A I N 層 34 がより大きなサイズに分割されているからだと考えられる。

[0040] 図 16 は発光ダイオード素子 220 において n 型 Ga N 層 24 と p 型 Ga N 層 26 との間に印加した電圧と n 型 Ga N 層 24 と p 型 Ga N 層 26 との間に流れる電流との関係の一例を示す説明図であり、図 17 は発光ダイオード素子 220 において n 型 Ga N 層 24 と p 型 Ga N 層 26 との間に流れる電流と発光ダイオード素子 220 が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。発光ダイオード素子 220 は、図示するように、波長 450 nm から 550 nm 程度の比較的広い波長領域の光、即ち、白色の光を全体として発している。n 型 Ga N 層 24 と p 型 Ga N 層 26 との間に流れる電流が大きくなると、強度が強くなり、波長 480 nm 付近および 600 nm 付近にピークが生じており、光が青と橙色を帯びた白色になる。これは、Ga N 歪緩和層 236 により A I N ベース層 30 や A I N 層 34 がよ

り大きなサイズに分割されており、積層構造体 228 のサイズが発光ダイオード素子 20、120 に比較して大きくなっているからであると考えられる。このように、 n 型 GaN 層 24 と AlN ベース層 30 との間および積層構造体 228 の InGa N 層 32 とその上の AlN 層 34 との間に GaN 歪緩和層 236 を形成することにより、第 1 実施例の発光ダイオード素子 20 と比べてより短波長側の光を発することができる。

[0041] 図 18 は、発光ダイオード素子 220 の製造工程の一例を説明するためのフローチャートであり、図 19 は各層を形成するときに用いられる MOVPE 法における TMG, TMA, TEG, TMI, Cp2Mg, NH_3 , SiH_4 の分圧の一例を示す表である。図 18 に例示した製造工程は、図 6 の発光ダイオード素子 20 の製造工程と同じステップについては同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0042] サファイア基板 22 上に n 型 GaN 層 24 を形成し (工程 S100)、次に、反応容器の圧力を 100 hPa として 780℃ で GaN からなる 8.4 nm の GaN 歪緩和層 236 を形成する (工程 S205)。その後、厚さ 0.6 nm の AlN ベース層 30 と厚さ 8 nm の InGa N 層 32 とを MOVPE 法を用いて順に形成したら (工程 S110、S120)、次に、InGa N 層 32 上に、反応容器の圧力を 100 hPa として 780℃ で GaN からなる 11 nm の GaN 歪緩和層 236 を形成する (工程 S225)。

[0043] 続いて、形成した InGa N 層上に AlN 層 34 と InGa N 層 32 とを形成した後 (工程 S130)、GaN 歪緩和層 236 を形成し (工程 S225)、工程 S120、S130、S225 を所定回数 (例えば、4 回など) 繰り返した後、GaN 歪緩和層 236 上に反応容器の圧力を 200 hPa として 1020℃ で AlGa N からなる 8.4 nm の AlGa N 層 238 を形成し (工程 S235)、AlGa N 層 238 上に p 型 GaN 層 26 を形成して (工程 S140)、本工程を終了する。こうして、 n 型 GaN 層 24 と AlN ベース層 30 との間および InGa N 層 32 とその上の AlN 層 34 との間に GaN 歪緩和層 236 を形成することにより、より短波長側の光を発

することができる発光ダイオード素子220を形成することができる。こうした発光ダイオード素子220を形成出来るのは、Ga_{0.9}N_{0.1}歪緩和層23を形成することにより、Al_{0.1}N_{0.9}ベース層30やAl_{0.1}N_{0.9}層34に作用している引っ張り応力を緩和することができ、Al_{0.1}N_{0.9}ベース層30やAl_{0.1}N_{0.9}層34をより大きなサイズに分割できるからと考えられる。

[0044] 以上説明した第3実施例の発光ダイオード素子220では、n型Ga_{0.9}N_{0.1}層24とAl_{0.1}N_{0.9}ベース層30との間およびInGa_{0.9}N_{0.1}層32とその上のAl_{0.1}N_{0.9}層34との間にGa_{0.9}N_{0.1}歪緩和層236を形成することにより、より短波長側の光を発することができる。

[0045] 第1〜第3実施例の発光ダイオード素子20, 120, 220では、積層構造体28, 128, 228においてInGa_{0.9}N_{0.1}層32とAl_{0.1}N_{0.9}層34とを複数回積層するものとしたが、InGa_{0.9}N_{0.1}層32とAl_{0.1}N_{0.9}層34とを1回ずつ積層してもよい。

[0046] 第4実施例の発光ダイオード素子420は、積層構造体28とn型Ga_{0.9}N_{0.1}層24との間に量子井戸構造体440を備えている点、積層構造体28とp型Ga_{0.9}N_{0.1}層26との間にAl_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}ブロック層450を備えている点、積層構造体28のAl_{0.1}N_{0.9}ベース層30上にInGa_{0.9}N_{0.1}層32とAl_{0.1}N_{0.9}層34とが一層ずつ積層されている点を除いて、第1実施例の発光ダイオード素子20と同様の構成となっている。したがって、発光ダイオード素子420において、第1実施例の発光ダイオード素子20と同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

[0047] 図20は本発明の第4実施例としての発光ダイオード素子420の要部の断面の概略を示す断面図である。発光ダイオード素子420は、図示するように、サファイア基板22上に形成されており、Ga_{0.9}N_{0.1}から形成され厚さが25nmの核発生層(図示せず)と、不純物がドーピングされていないGa_{0.9}N_{0.1}から形成され厚さ300nmのGa_{0.9}N_{0.1}ノンドープ層(図示せず)と、n型のGa_{0.9}N_{0.1}により形成され厚さが3.4μmのn型Ga_{0.9}N_{0.1}層24と、n型Ga_{0.9}N_{0.1}層24上に形成された量子井戸構造体440と、量子井戸構造体440上

に形成され厚さが40 nmでサイズが互いにランダムにばらつき側面が斜面となった複数の島状の積層構造体28と、積層構造体28上にAlGaInにより形成されたAlGaInブロック層450と、AlGaInブロック層450上に形成されたp型GaN層26と、を備える。

[0048] 量子井戸構造体440は、GaNから形成され厚さが13 nmの3つのGaNバリア層442と、3つのGaNバリア層442のうちの2つの間にGaNよりバンドギャップが小さいInGaNから形成され厚さが2 nmの2つのInGaN井戸層444と、を備える、いわゆる量子井戸構造として形成されている。

[0049] 積層構造体28は、AlInにより形成されたAlInベース層30上に、InGaNにより形成されたInGaN層32とAlInにより形成されたAlIn層34とが積層されて形成されている。

[0050] 続いて、こうして構成された発光ダイオード素子420の動作について説明する。図21は発光ダイオード素子420が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図であり、図22はn型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流と発光ダイオード素子420が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。発光ダイオード素子420は、図示するように、波長450 nmから600 nm程度の比較的広い波長領域の光、即ち、全体として白色の光を発している。n型GaN層24とp型GaN層26との間に流れる電流が大きくなると、強度が強くなり、波長550 nm〜550 nm付近で強度が大きくなり光が白色となる。光の強度は、図5に示した発光ダイオード素子20の10倍程度であり、発光ダイオード素子420はより強い強度の光を発している。このように、発光ダイオード素子20より強い強度の白色の光を発するのは、積層構造体28とn型GaN層24との間に量子井戸構造体440を備えているからだと考えられる。こうした構成により、発光ダイオード素子420は、より強い強度の光を発することができる。

[0051] 図23は、発光ダイオード素子420の製造工程の一例を説明するための

フローチャートであり、図24は各層を形成するときに用いられるMOVPE法におけるTMG, TMA, TEG, TMI, Cp2Mg, NH₃, SiH₄の分圧の一例を示す表である。図23に例示した製造工程は、図6の発光ダイオード素子20の製造工程と同じステップについては同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0052] サファイア基板22上にn型GaN層24を形成し(工程S100)、次に、反応容器の圧力を200hPaとして780℃でGaNからなる13nmのGaNバリア層442をMOVPE法を用いて形成する(工程S101)。こうして形成したGaNバリア層442上に、反応容器の圧力を200hPaとして780℃でInGaNからなる2nmのInGaN井戸層444をMOVPE法を用いて形成し(工程S102)、工程S101, S102をそれぞれもう一度行なう。こうした処理により、量子井戸構造体440を形成することができる。

[0053] こうして量子井戸構造体440を形成したら、厚さ0.6nmのAlNベース層30と厚さ4nmのInGaN層32と厚さ4nmのAlN層34とをMOVPE法を用いて順に形成して積層構造体28を形成し(工程S110〜S130)、反応容器の圧力を100hPaとして1020℃でAlGaNからなる8.4nmのAlGaNブロック層450を形成し(工程S135)、AlGaNブロック層450上にp型GaN層26を形成して(工程S140)、本工程を終了する。こうして、n型GaN層24とAlNベース層30との間に量子井戸構造体440を形成することにより、より強い強度の光を発することができる発光ダイオード素子420を形成することができる。

[0054] 以上説明した第4実施例の発光ダイオード素子520では、n型GaN層24とAlNベース層30との間に量子井戸構造体440を備えるから、より強い強度の光を発することができる発光ダイオード素子420を形成することができる。

[0055] 第4実施例の発光ダイオード素子420では、積層構造体28をAlNベ

—ス層30上にInGaN層32とAlN層34とが交互に1回積層されたものとしたが、積層構造体28はInGaN層32とAlN層34とが交互に2回(2層ずつ)積層されたものとしてもよい。この場合、量子井戸構造体440は、3つのGaNバリア層442と3つのGaNバリア層のうちの2つのGaNバリア層の間に形成された2つのInGaN井戸層444とを備えるものとするか、2つのGaNバリア層442と2つのGaNバリア層の間に形成された1つのInGaN井戸層444とを備えるものとするのがより強い強度の光を発するという観点から特に望ましい。

[0056] 第4実施例の発光ダイオード素子420では、量子井戸構造体440を3つのGaNバリア層442と3つのGaNバリア層のうちの2つのGaNバリア層の間に形成された2つのInGaN井戸層444とを備えるものとしたが、量子井戸構造体440は、 n 個(n は値2以上の整数)のGaNバリア層442と、 n 個のバリア層のうちの2つのGaNバリア層の間に形成された($n-1$)個のInGaN井戸層444と、を備えていればよく、図25の変形例の発光ダイオード素子520に例示するように、例えば、6つのGaNバリア層442と5つのInGaN井戸層444とが積層されたものとしても構わない。図26は変形例の発光ダイオード素子520が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図であり、図27は変形例の発光ダイオード素子520において n 型GaN層24と p 型GaN層26との間に流れる電流と発光ダイオード素子520が発する光の波長と光の強度との関係の一例を示す説明図である。このように、発光ダイオード素子520は、より強い強度の光を発することができる。

[0057] 第4実施例の発光ダイオード素子420では、積層構造体28、128、228においてInGaN層32とAlN層34とを1回積層するものとしたが、InGaN層32とAlN層34とを複数回積層してもよい。

[0058] 第4実施例の発光ダイオード素子420では、積層構造体28は第2実施例の発光ダイオード素子120に例示されているGaN歪緩和層を備えていないものとしたが、図28の変形例の発光ダイオード素子620に例示する

ように、GaN歪緩和層636を備えているものとしてもよい。

[0059] 第4実施例の発光ダイオード素子420では、n型GaN層24とAlNベース層30との間に量子井戸構造体440を備えるものとしたが、図29の変形例の発光ダイオード素子720に例示するように、積層構造体28とp型GaN層26との間に量子井戸構造体440を備えるものとしてもよい。この場合、積層構造体28上のAlGaNブロック層450の上にAlNから形成されたAlN層750を形成した上に量子井戸構造体440を形成し、量子井戸構造体440上にAlGaNにより形成されたAlGaN層752を形成したうえでp型GaN層26を形成するのが望ましい。

[0060] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720では、積層構造体28, 128, 228はサイズを大きくするほど短波長側で発光すると考えられるから、積層構造体28, 128, 228の各々のサイズを調整することにより、発する光の波長を変更してもよい。積層構造体28, 128, 228のサイズの調整は、AlNベース層30の厚さを調整したり、GaN歪緩和層136, 236を形成する場所や厚さなどを適宜調整したり、各層の結晶成長速度（原料の供給分圧）や結晶成長速度を調整することにより行なうことができ、例えば、GaN歪緩和層136, 236を形成しない場合には、AlNベース層30の厚さを大きくするとn型GaN層24に対する伸張歪みがよりAlNベース層30に蓄積して、AlNベース層がよりサイズの領域に分割されと考えられることから、AlNベース層30を厚くするほどサイズが小さな積層構造体28を形成すること

が可能となると考えられる。

[0061] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720で例示した各層の厚さは、実施例に記載したものに限定されるものではなく、用途等に応じて望まれる発光ダイオード素子の性能などに応じて適宜変更可能である。

[0062] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220,

420, 520, 620, 720を製造する際のMOVPE法における反応容器の温度、圧力、反応ガスの分圧等は、用途等に応じて望まれる発光ダイオード素子の性能などに応じて、適宜変更可能である。

[0063] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720では、AINベース層30や積層構造体28が780℃のMOVPE法により形成されるものとしたが、750℃以上のMOVPE法に形成されるものであればよく、特に750℃以上800℃以下のMOVPE法で形成するのがよい。

[0064] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720では、積層構造体28, 128, 228は、AINにより形成されたAINベース層30とAINにより形成されたAIN層34とを備えるものとしたが、AINベース層30, AIN層34は、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成された窒化物層であればよく、例えば、AINベース層30に代えてAlGaNにより形成されたAlGaNベース層やAlGaNやAINにわずかにインジウムを加えた層などを備えるものとしたり、AIN層34に代えてAlGaNにより形成されたAlGaN層やAlGaNやAINにわずかにインジウムを加えた層などを備えるものとしてもよい。

[0065] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720では、サファイア基板22上にn型GaN層24を形成し、積層構造体28上にp型GaN層26を形成するものとしたが、n型GaN層24に代えてp型のGaNから形成されたp型GaN層を形成し、P型GaN層26に代えてn型のGaNから形成されたn型GaN層を形成するものとしてもよい。

[0066] 第1〜第4実施例や変形例の発光ダイオード素子20, 120, 220, 420, 520, 620, 720では、基板としては、サファイアから形成されたものを用いるものとしたが、シリコンやn型GaNから形成されたも

のを用いてもよい。また、こうした基板は、発光ダイオード素子 20, 120, 220, 420, 520, 620, 720 を製造した後に取り除くものとしてもよい。

[0067] 実施例の主要な要素と発明の概要の欄に記載した発明の主要な要素との対応関係について説明する。実施例では、n 型 GaN 層 24 が「第 1 導電型半導体層」に相当し、p 型 GaN 層 26 が「第 2 導電型半導体層」に相当し、AlN ベース層 30 が「ベース層」に相当し、InGaIn 層 32 が「第 1 層」に相当し、AlN 層 34 が「第 2 層」に相当し、積層構造体 28 が「積層構造体」に相当する。また、p 型 GaN 層 24 上に AlN ベース層 30 を MOVPE 法により形成する図 6 の工程 S110 が「ベース層形成工程」に相当し、AlN ベース層 30 上に InGaIn 層 32 を MOVPE 法により形成する工程 S120 と InGaIn 層 32 上に AlN 層 34 を MOVPE 法により形成する工程 S130 とが「積層構造形成工程」に相当し、AlN 層 34 上に p 型 GaN 層を MOVPE 法により形成する工程 S140 が「第 2 導電型半導体層形成工程」に相当する。

[0068] なお、実施例の主要な要素と発明の概要の欄に記載した発明の主要な要素との対応関係は、実施例が発明の概要の欄に記載した発明を実施するための形態を具体的に説明するための一例であることから、発明の概要の欄に記載した発明の要素を限定するものではない。即ち、発明の概要の欄に記載した発明についての解釈はその欄の記載に基づいて行なわれるべきものであり、実施例は発明の概要の欄に記載した発明の具体的な一例に過ぎないものである。

[0069] 以上、本発明を実施するための形態について実施例を用いて説明したが、本発明はこうした実施例に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる形態で実施し得ることは勿論である。

産業上の利用可能性

[0070] 本発明は、発光ダイオード素子の製造産業などに利用可能である。

請求の範囲

- [請求項 1] 第 1 導電型の窒化ガリウムにより形成された第 1 導電型半導体層と、前記第 1 導電型と異なる第 2 導電型の窒化ガリウムにより形成された第 2 導電型半導体層と、を備える発光ダイオード素子であって、
- 前記第 1 導電型半導体層と前記第 2 導電型半導体層との間に形成され、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成されたベース層に、インジウム窒化ガリウムにより形成された第 1 層とアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物により形成された第 2 層とが積層されてなり、サイズがランダムにばらついた複数の島状の積層構造体を備える発光ダイオード素子。
- [請求項 2] 請求項 1 記載の発光ダイオード素子であって、
- 前記島状の積層構造体は、前記第 1 層と前記第 2 層とが交互に複数積層されてなる
- 発光ダイオード素子。
- [請求項 3] 請求項 1 または 2 記載の発光ダイオード素子であって、
- 前記第 2 層は、前記第 1 層より薄く形成されてなる
- 発光ダイオード素子。
- [請求項 4] 請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 つの請求項に記載の発光ダイオード素子であって、
- 前記第 1 導電型半導体層と前記ベース層との間および前記ベース層と前記第 1 層との間および前記第 1 層と前記第 2 層との間の少なくとも一つの間、に、窒化ガリウムにより形成された歪緩和層を有する
- 発光ダイオード素子。
- [請求項 5] 請求項 4 記載の発光ダイオード素子であって、
- 前記積層構造体は、前記歪緩和層が露出しており、

前記積層構造体と前記第2導電型半導体層との間にアルミニウム窒化ガリウムにより形成された第2歪緩和層を備える

発光ダイオード素子。

[請求項6]

請求項4または5記載の発光ダイオード素子であって、
前記歪緩和層は、前記第1層より薄く形成されてなる
発光ダイオード素子。

[請求項7]

請求項1ないし6のいずれか1つの請求項に記載の発光ダイオード素子であって、

n 個 (n は値2以上の整数)のバリア層と、前記 n 個のバリア層のうちの2つのバリア層の間に前記バリア層よりバンドギャップが小さい材料により形成された($n-1$)個の量子井戸層と、を有し、前記積層構造体と前記第1導電型半導体層との間または前記積層構造体と前記第2導電型半導体層との間に形成された量子井戸構造体

を備える発光ダイオード素子。

[請求項8]

請求項7記載の発光ダイオード素子であって、
前記積層構造体は、前記第1層と前記第2層とが交互に1回または2回積層されてなり、
前記 n は、値2または値3である
発光ダイオード素子。

[請求項9]

第1導電型の窒化ガリウムにより形成された第1導電型半導体層と、第2導電型の窒化ガリウムにより形成された第2導電型半導体層と、を備える発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記第1導電型半導体層上に、有機金属気相成長法を用いて、アルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなるベース層を形成するベース層形成工程と、

前記形成したベース層上に、有機金属気相成長法を用いてインジウム窒化ガリウムからなる第1層を形成する工程と有機金属気相成長法

を用いてアルミニウムおよびガリウムおよびインジウムの少なくとも一つを含み窒化ガリウムにより伸張歪みを受ける窒化物からなる第2層を形成する工程とを行なって、前記第1層と前記第2層とが積層された積層構造を形成する積層構造形成工程と、

前記形成した積層構造上に、有機金属気相成長法を用いて、第2導電型の窒化ガリウムにより第2導電型半導体層を形成する第2導電型半導体層形成工程と

を備える発光ダイオード素子の製造方法。

[請求項 10]

請求項 9 記載の発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記積層構造形成工程は、前記第1層を形成する工程と前記第2層を形成する工程とを交互に複数回繰り返して、前記第1層と前記第2層とが交互に複数積層された積層構造を形成する工程である

発光ダイオード素子の製造方法。

[請求項 11]

請求項 9 または 10 記載の発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記積層構造形成工程は、前記第1導電型半導体層と前記ベース層との間および前記ベース層と前記第1層との間および前記第1層と前記第2層との間、の少なくとも一つの間に、有機金属気相成長法を用いて、窒化ガリウムにより形成された歪緩和層を形成する工程を有する工程である

発光ダイオード素子の製造方法。

[請求項 12]

請求項 11 記載の発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記積層構造形成工程は、前記歪緩和層上に、有機金属気相成長法を用いて、アルミニウム窒化ガリウムにより第2歪緩和層を形成する工程を有し、

前記第2導電型半導体層形成工程は、前記第2歪緩和層上に、有機金属気相成長法を用いて、前記第2導電型半導体層を形成する工程である

発光ダイオード素子の製造方法。

[請求項 13]

請求項 9 ないし 12 のいずれか 1 つの請求項に記載の発光ダイオード素子の製造方法であって、

前記ベース層形成工程および前記積層構造形成工程における前記有機金属気相成長法は、750℃以上800℃以下の温度で結晶成長を行なう方法である

発光ダイオード素子の製造方法。

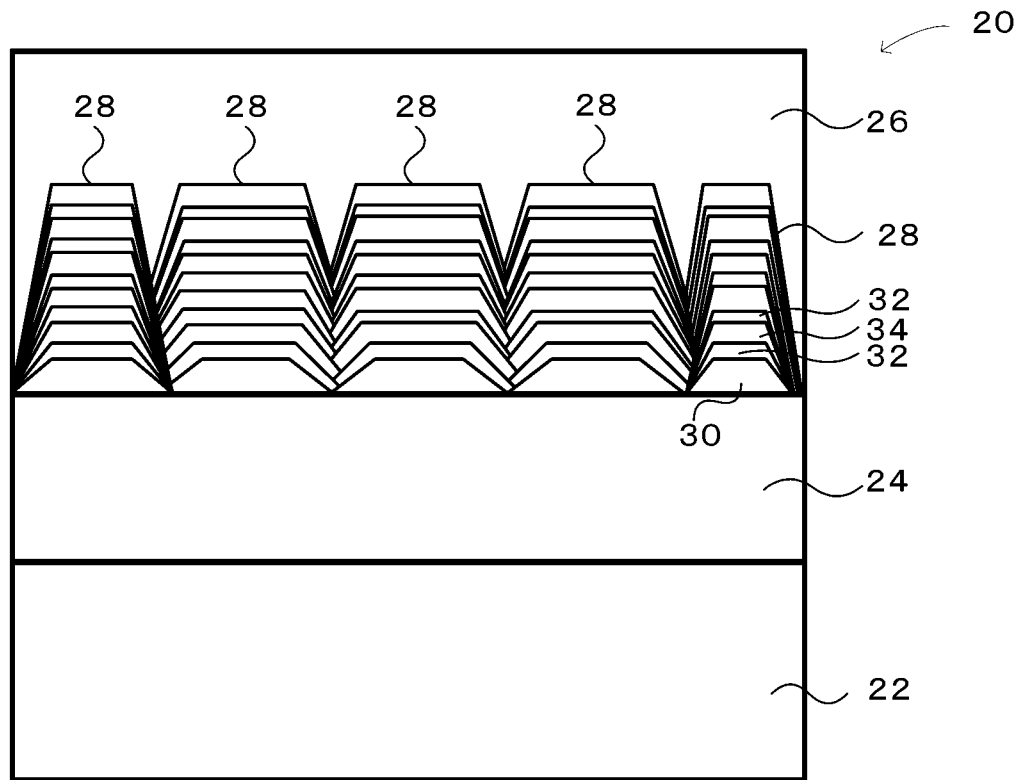
[請求項 14]

請求項 9 ないし 13 のいずれか 1 つの請求項に記載の発光ダイオード素子の製造方法であって、

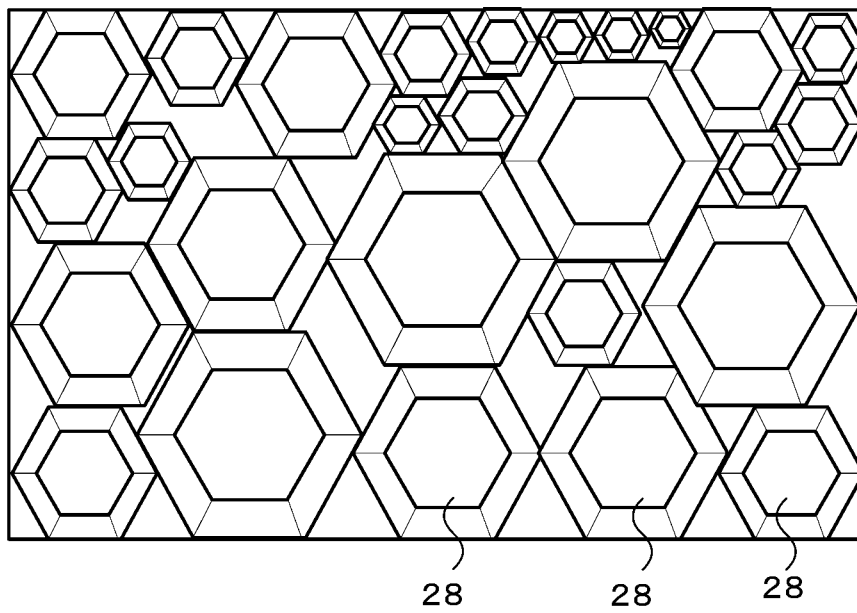
前記ベース層形成工程の前または前記積層構造形成工程の後に、 n 個 (n は値 2 以上の整数) のバリア層と、前記バリア層の間に前記バリア層よりバンドギャップが小さい材料により形成された ($n - 1$) 個の量子井戸層と、を有する量子井戸構造体を形成する量子井戸構造体形成工程

を備える発光ダイオード素子の製造方法。

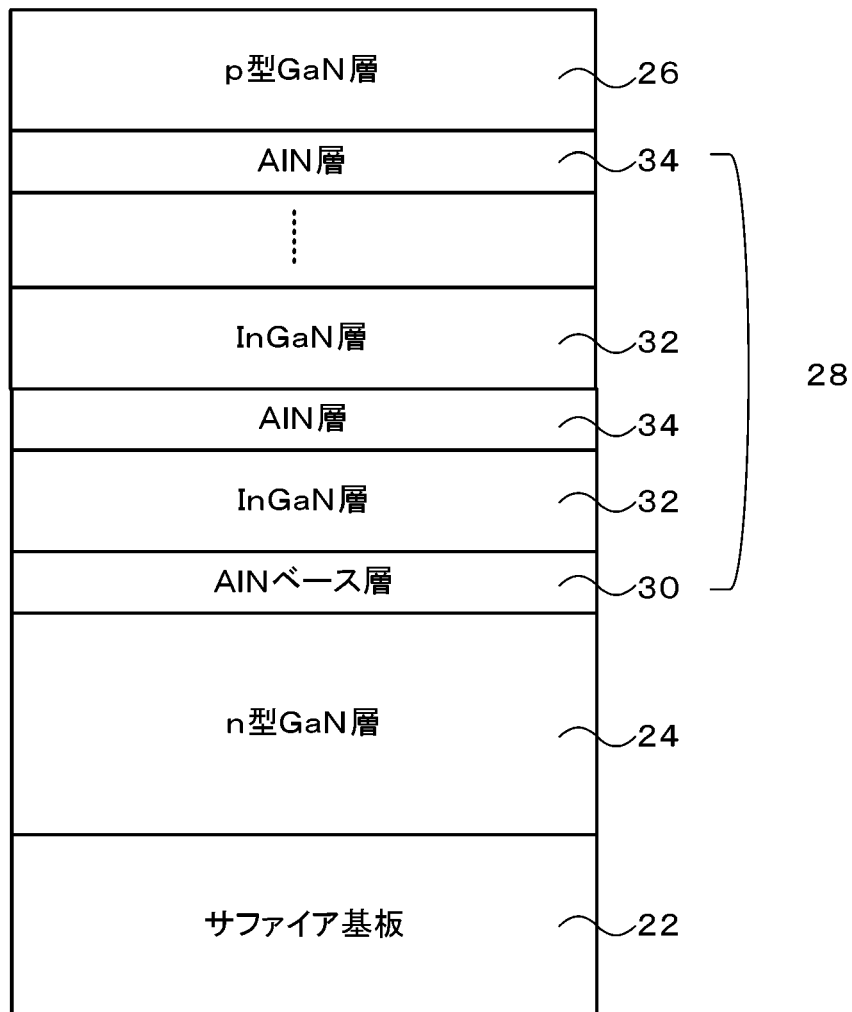
[図1]



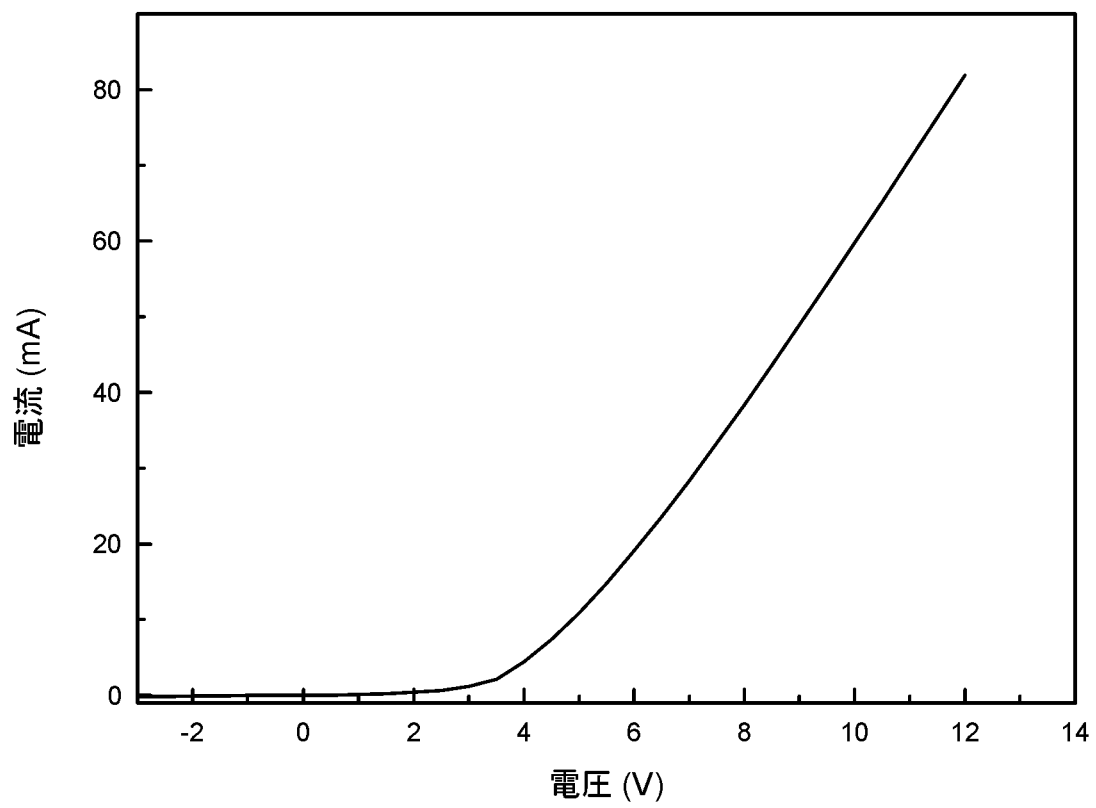
[図2]



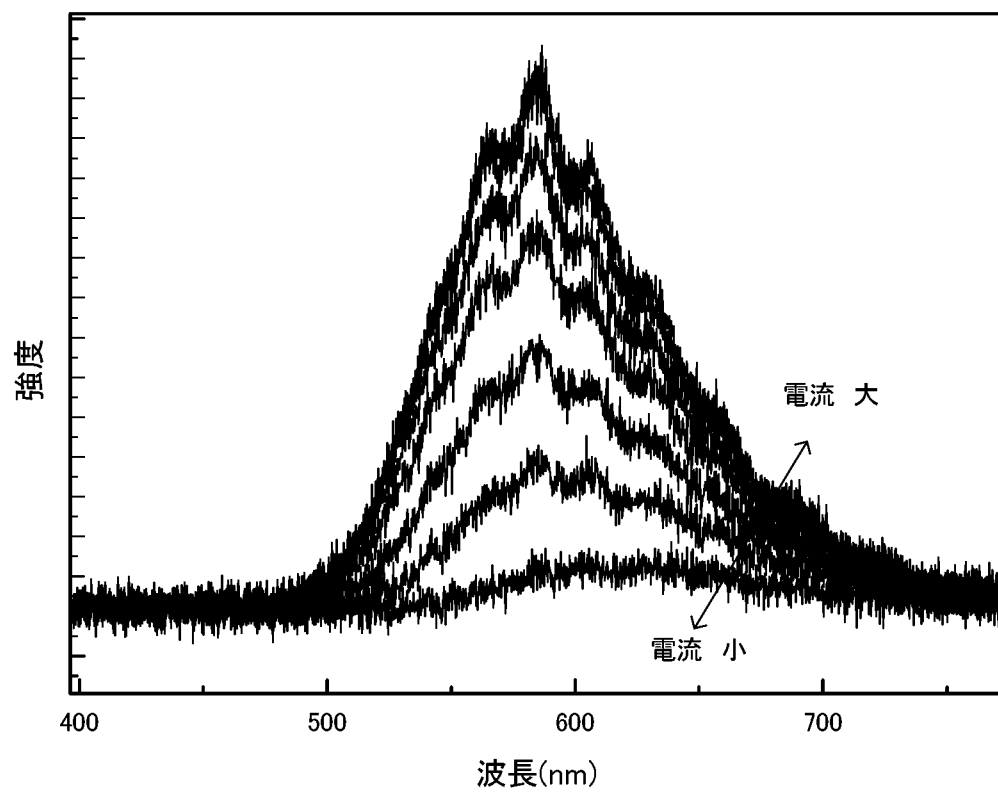
[図3]



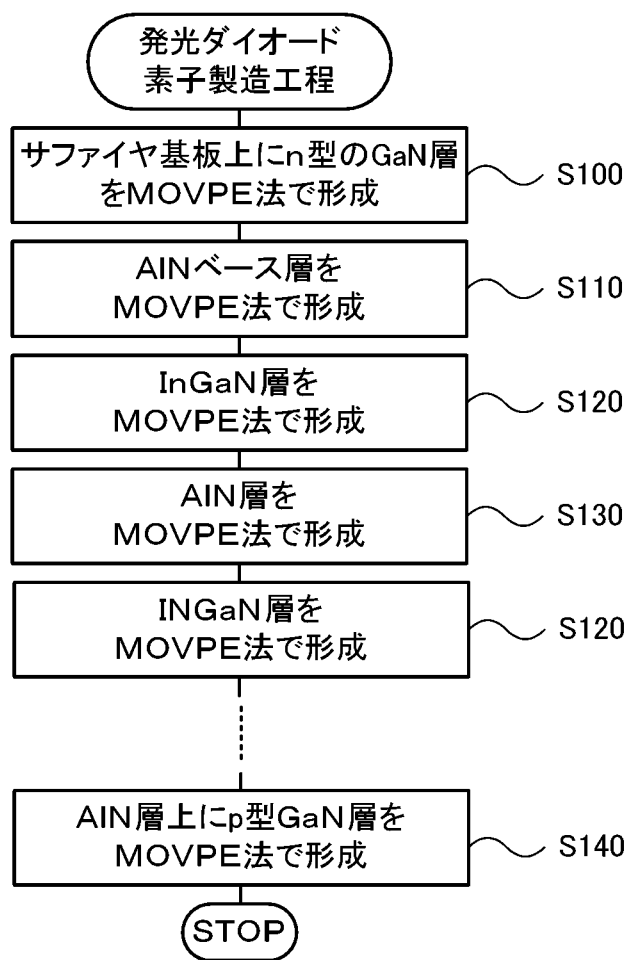
[図4]



[図5]



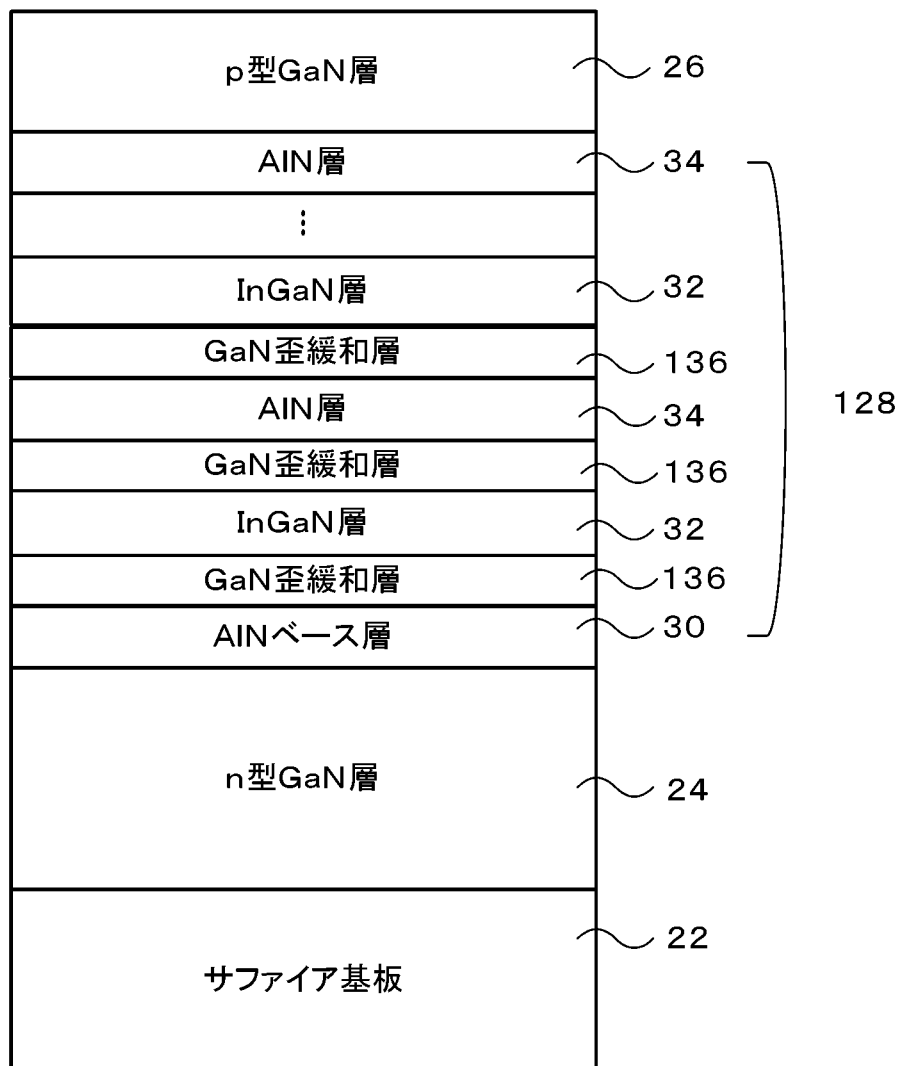
[図6]



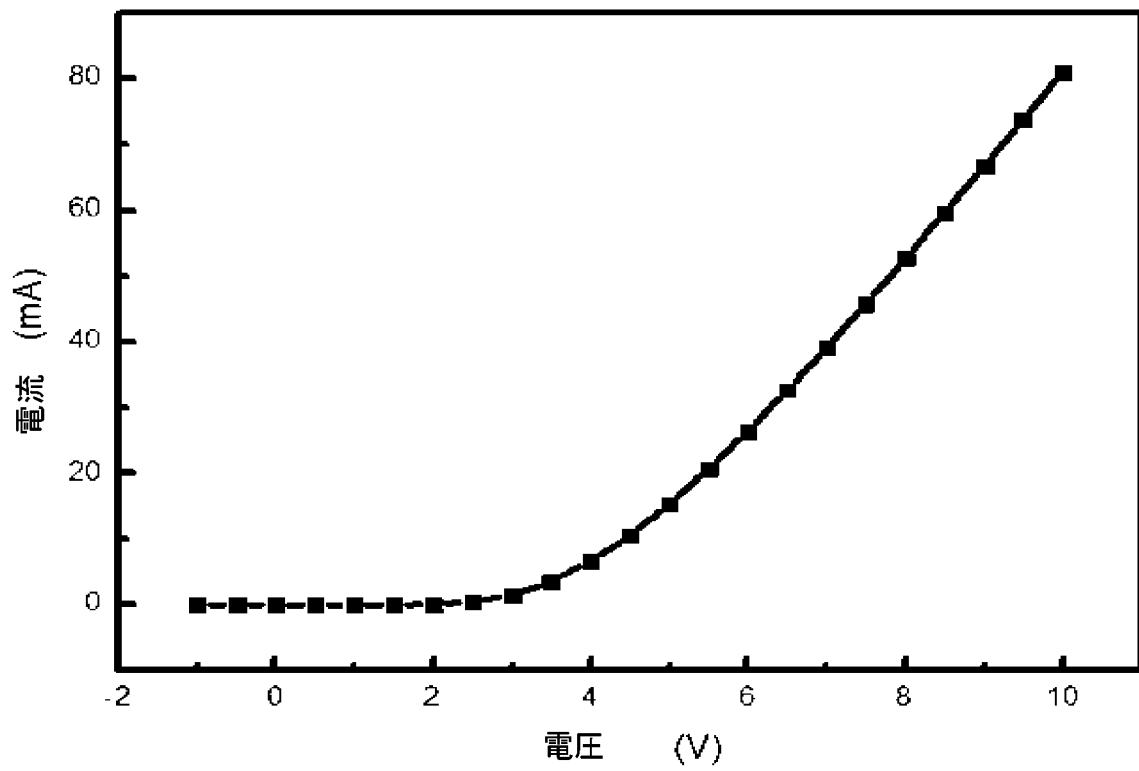
[図7]

層	分圧 TMG (hPa)	分圧 TMA (hPa)	分圧 TEG (hPa)	分圧 TMI (hPa)	分圧 Cp2Mg (hPa)	分圧 NH3 (hPa)	分圧 SiH4 (hPa)
GaN核発生層	2.65E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.11E+01	0.00E+00
ノンドープGaN層	9.99E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.07E+01	0.00E+00
n型GaN層	8.66E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.53E+01	2.29E-05
低ドープn型GaN層	9.84E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.54E+01	2.61E-05
AlN層	0.00E+00	6.13E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.65E+01	0.00E+00
InGaN層	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-02	1.58E-02	0.00E+00	6.25E+01	0.00E+00
P型GaN層	2.13E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.18E-04	4.35E+01	0.00E+00

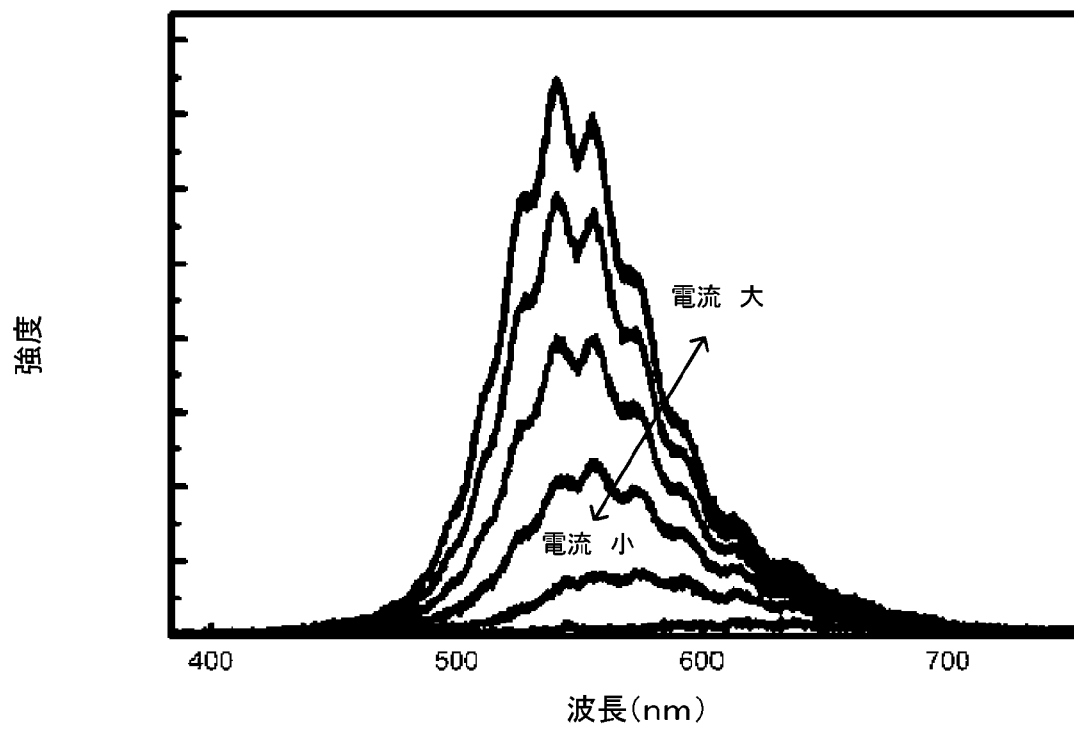
[図8]



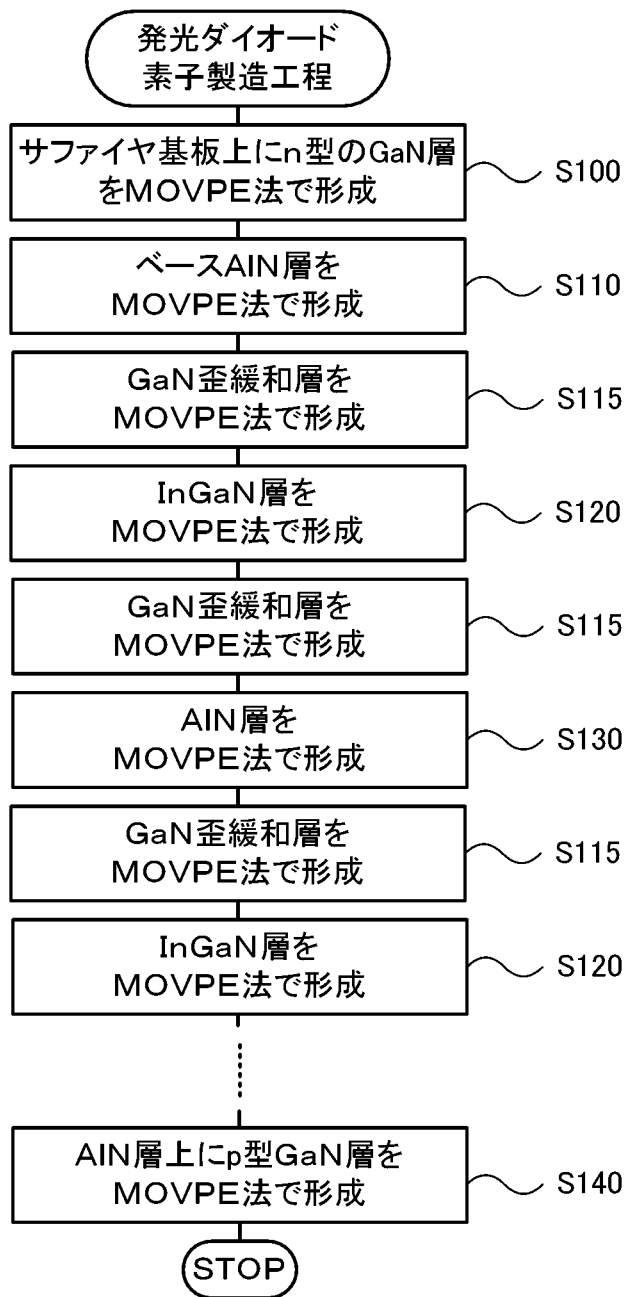
[図9]



[図10]



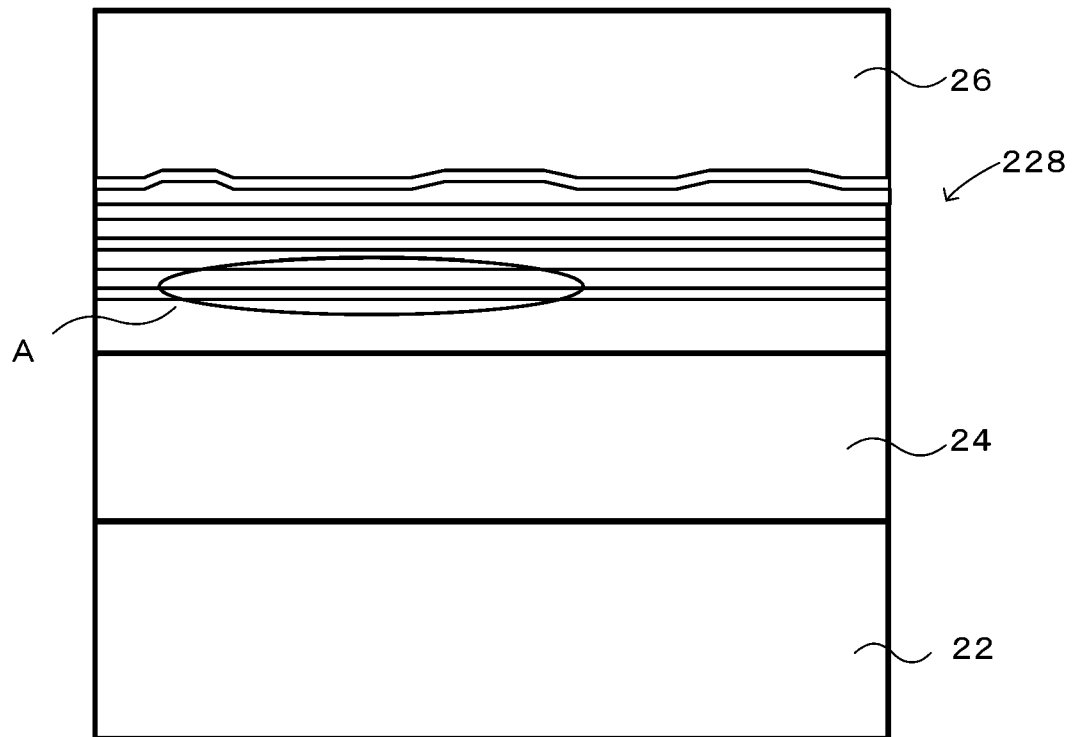
[図11]



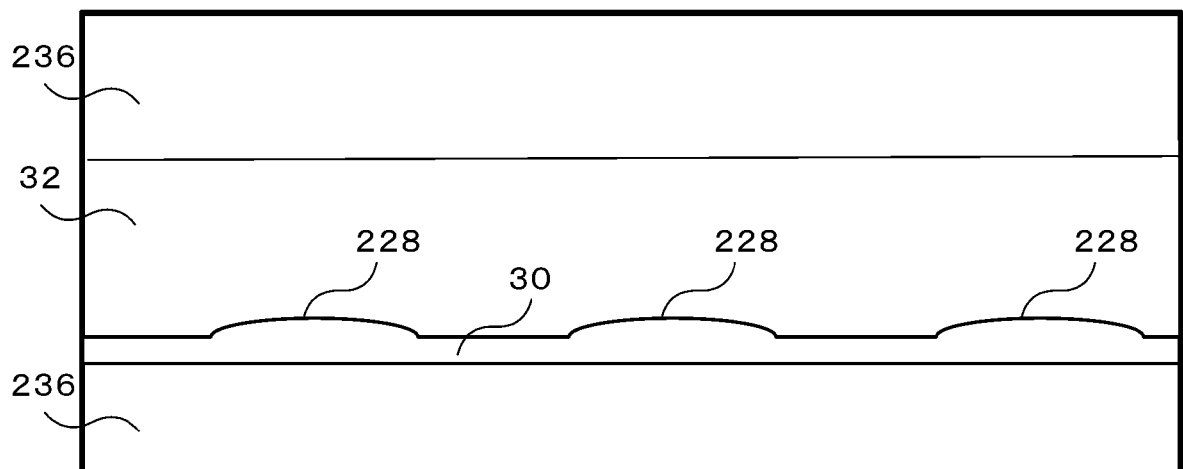
[図12]

層	分圧 TMG (hPa)	分圧 TMA (hPa)	分圧 TEG (hPa)	分圧 TMI (hPa)	分圧 Cp2Mg (hPa)	分圧 NH ₃ (hPa)	分圧 SiH ₄ (hPa)
GaN歪緩和層	0.00E+00	0.00E+00	6.45E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.65E+01	0.00E+00

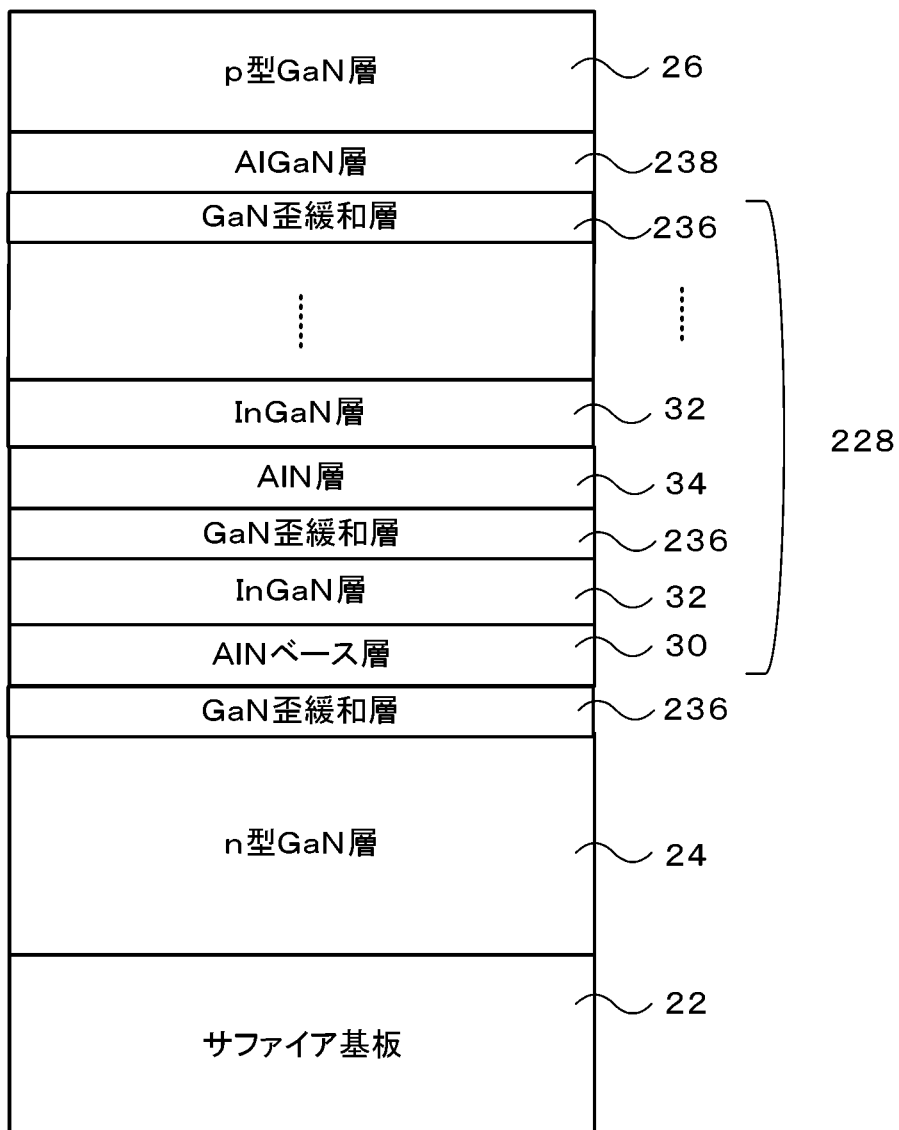
[図13]



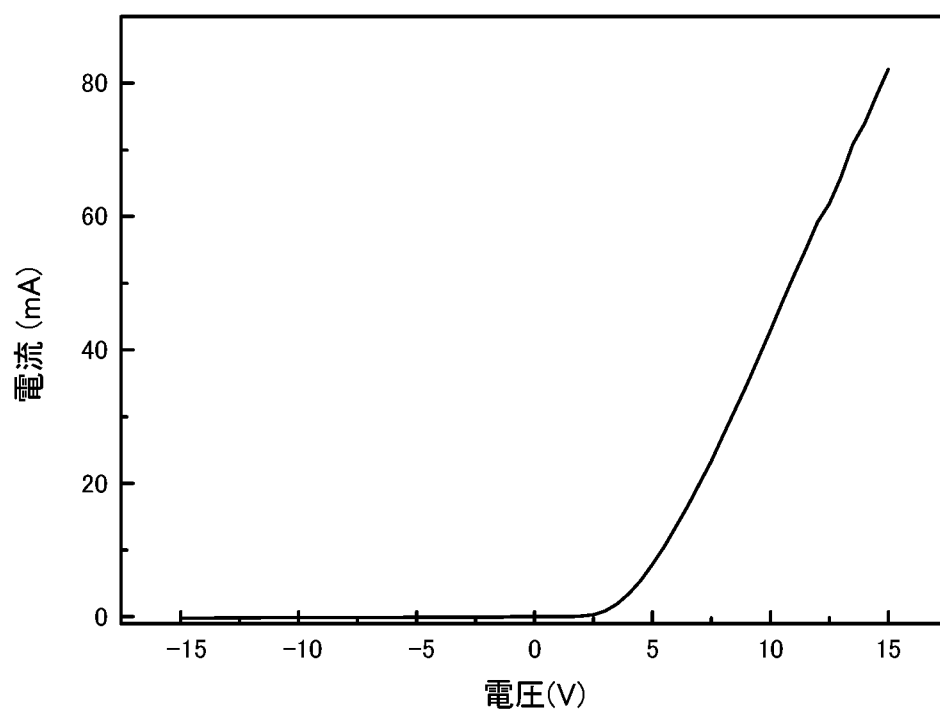
[図14]



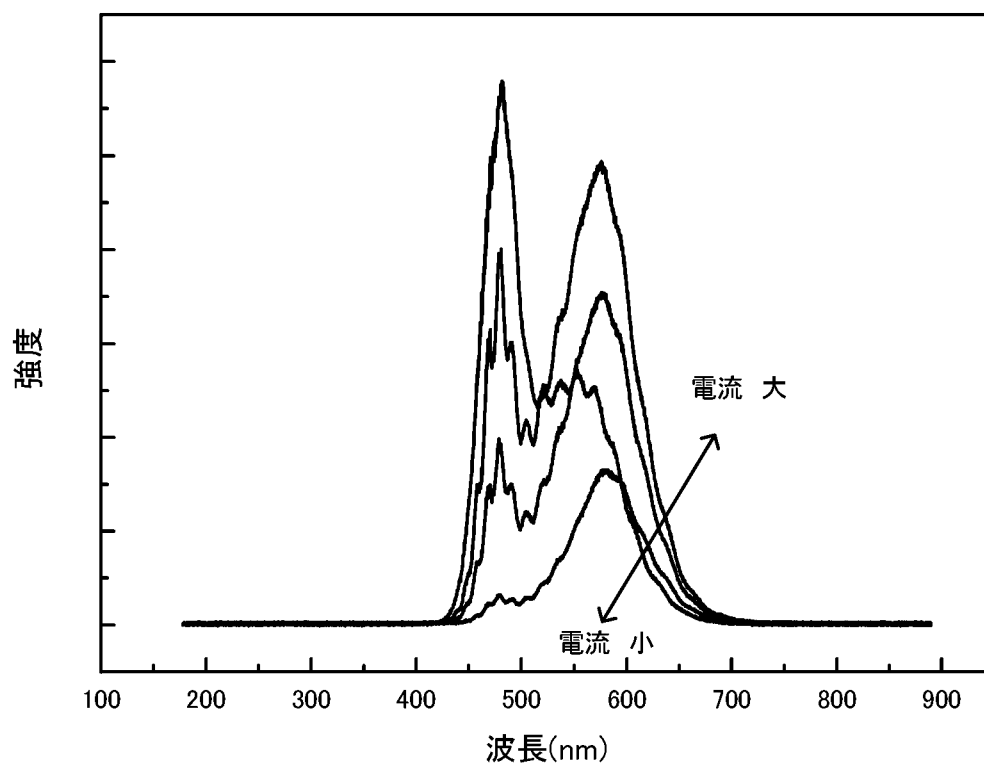
[図15]



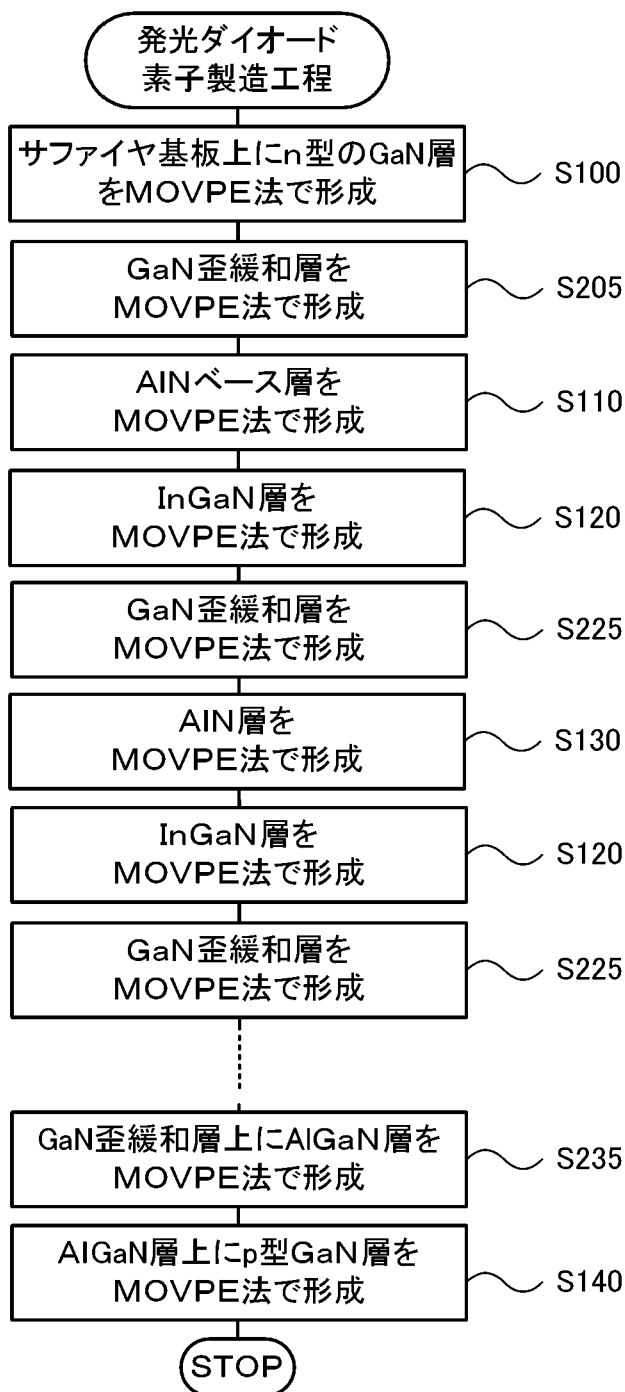
[図16]



[図17]



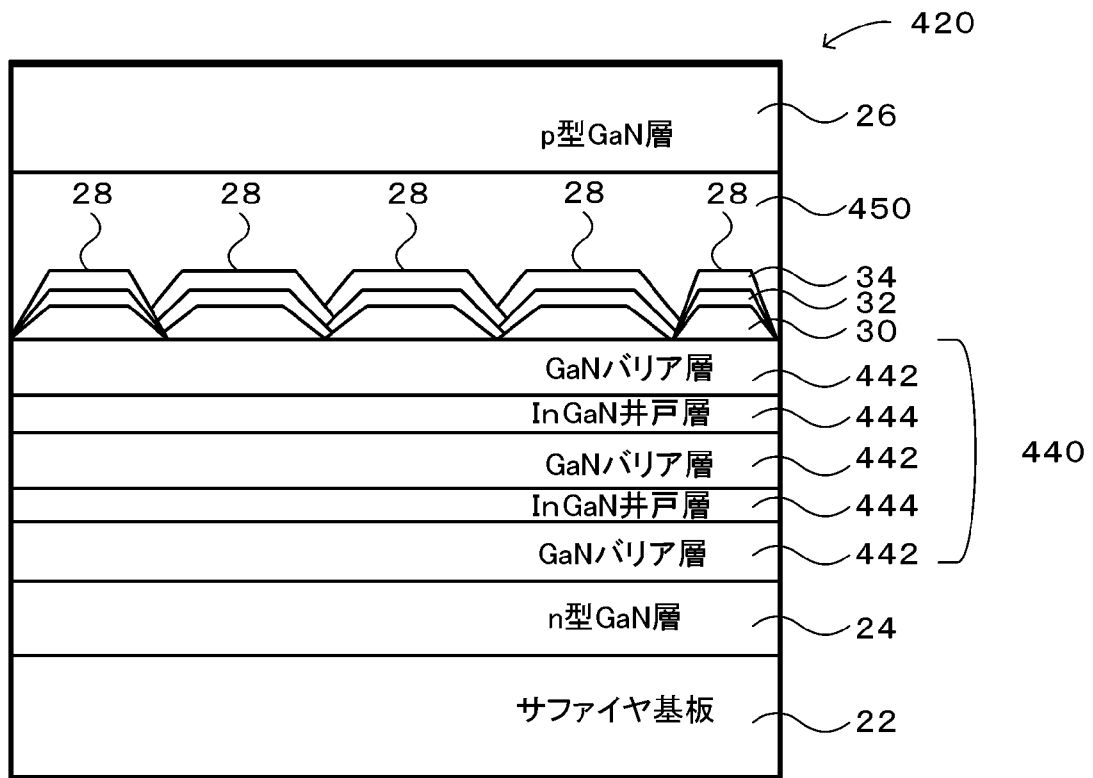
[図18]



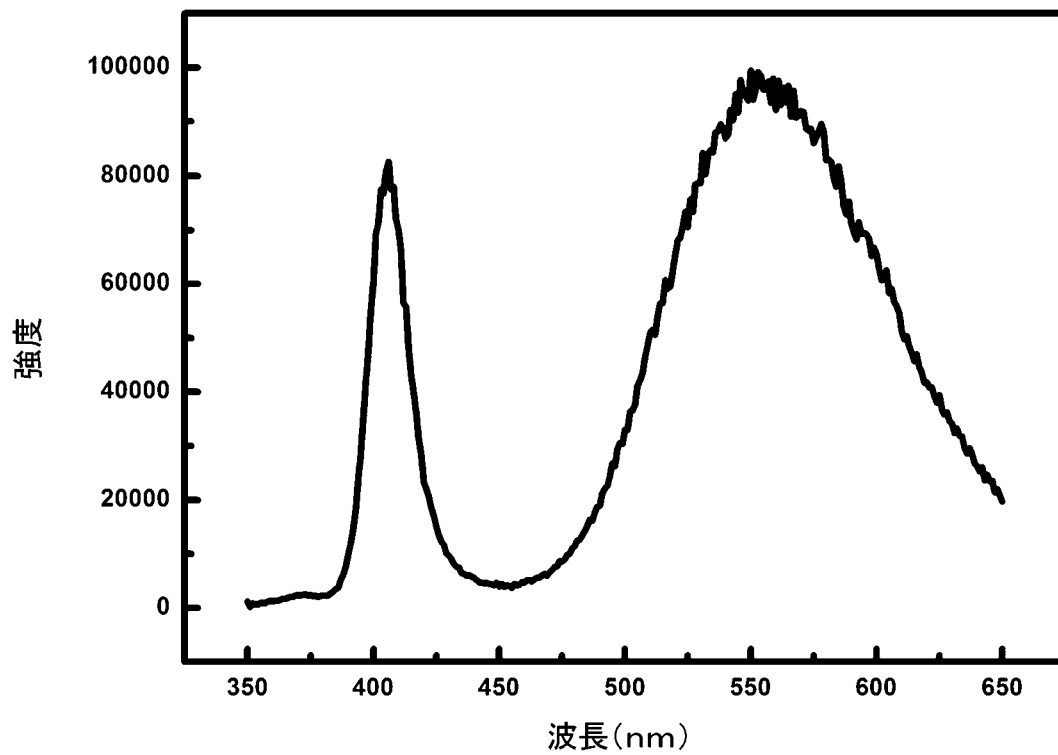
[図19]

層	分圧 TMG (hPa)	分圧 TMA (hPa)	分圧 TEG (hPa)	分圧 TMI (hPa)	分圧 Cp ₂ Mg (hPa)	分圧 NH ₃ (hPa)	分圧 SiH ₄ (hPa)
GaN核発生層	2.65E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.11E+01	0.00E+00
ノンドープGaN層	9.99E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.07E+01	0.00E+00
n型GaN層	8.66E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.53E+01	2.29E-05
低ドープ n型GaN層	9.84E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.54E+01	2.61E-05
GaN歪緩和層	0.00E+00	0.00E+00	1.94E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.20E+02	1.19E-05
AlN層	0.00E+00	1.11E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E+02	1.19E-05
InGaN層	0.00E+00	0.00E+00	1.84E-02	1.14E-02	0.00E+00	1.13E+02	0.00E+00
AlGaN層	7.88E-03	6.67E-04	0.00E+00	0.00E+00	4.78E-04	5.74E+00	0.00E+00
p型GaN層	2.11E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-03	4.30E+01	0.00E+00

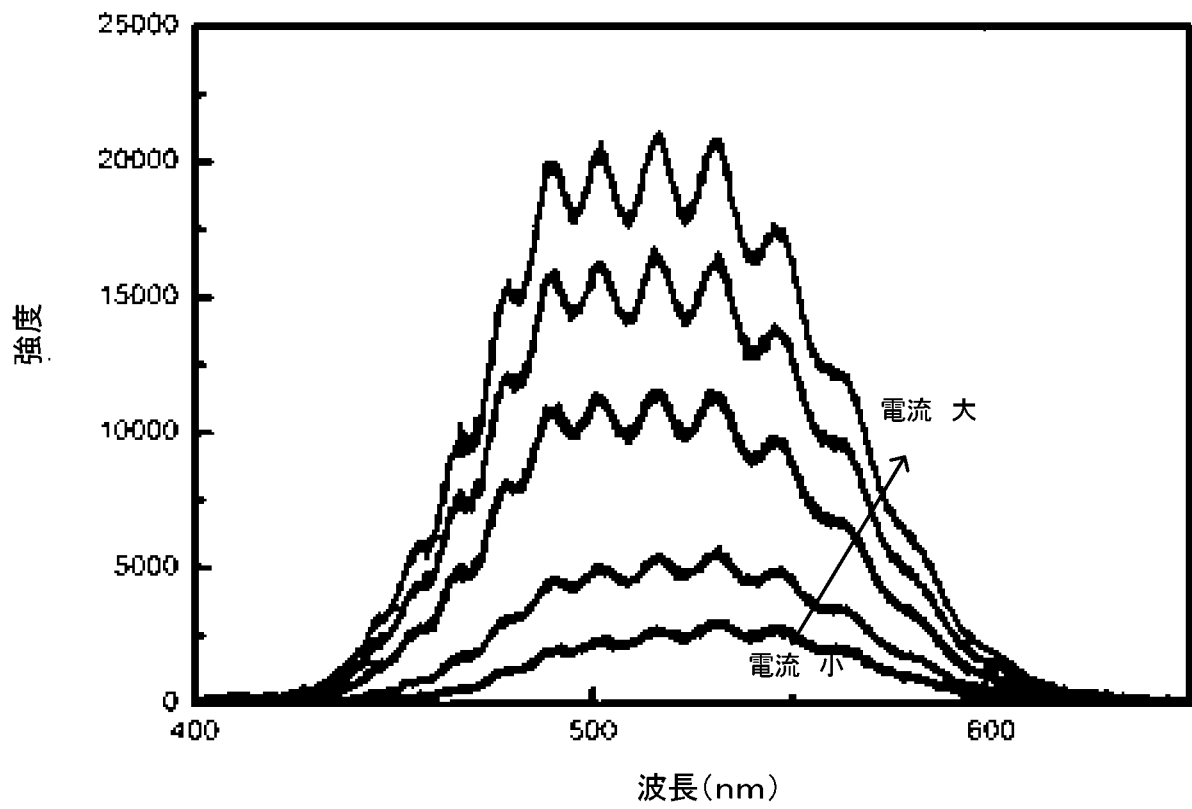
[図20]



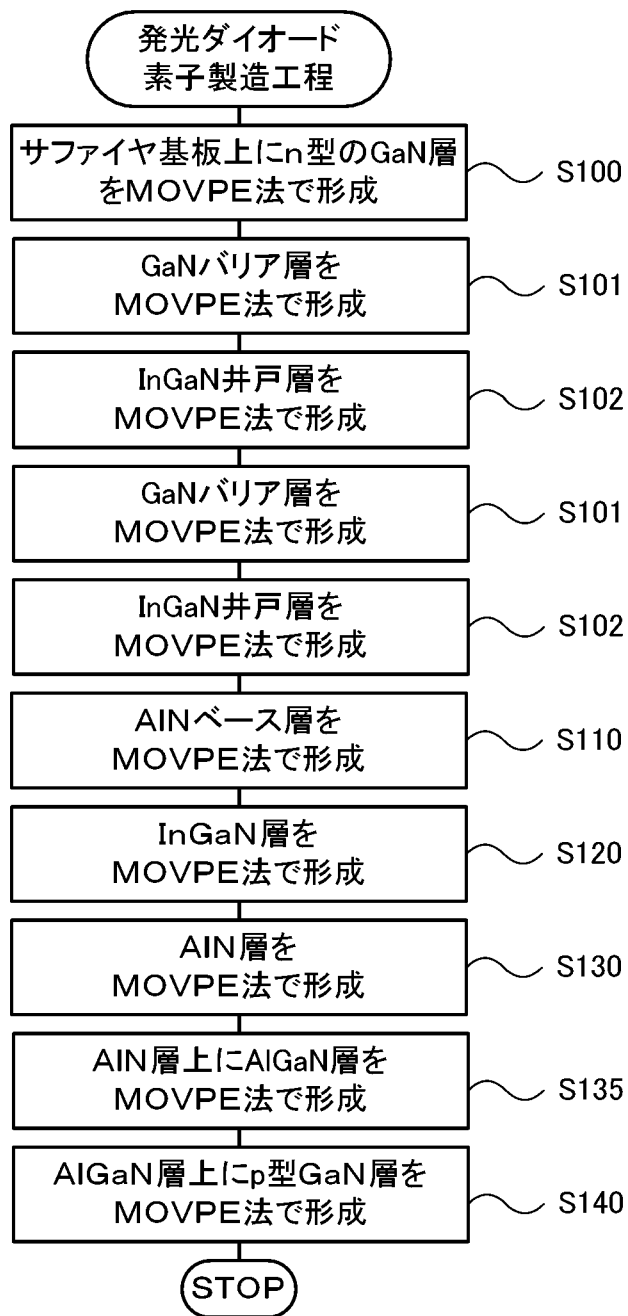
[図21]



[図22]



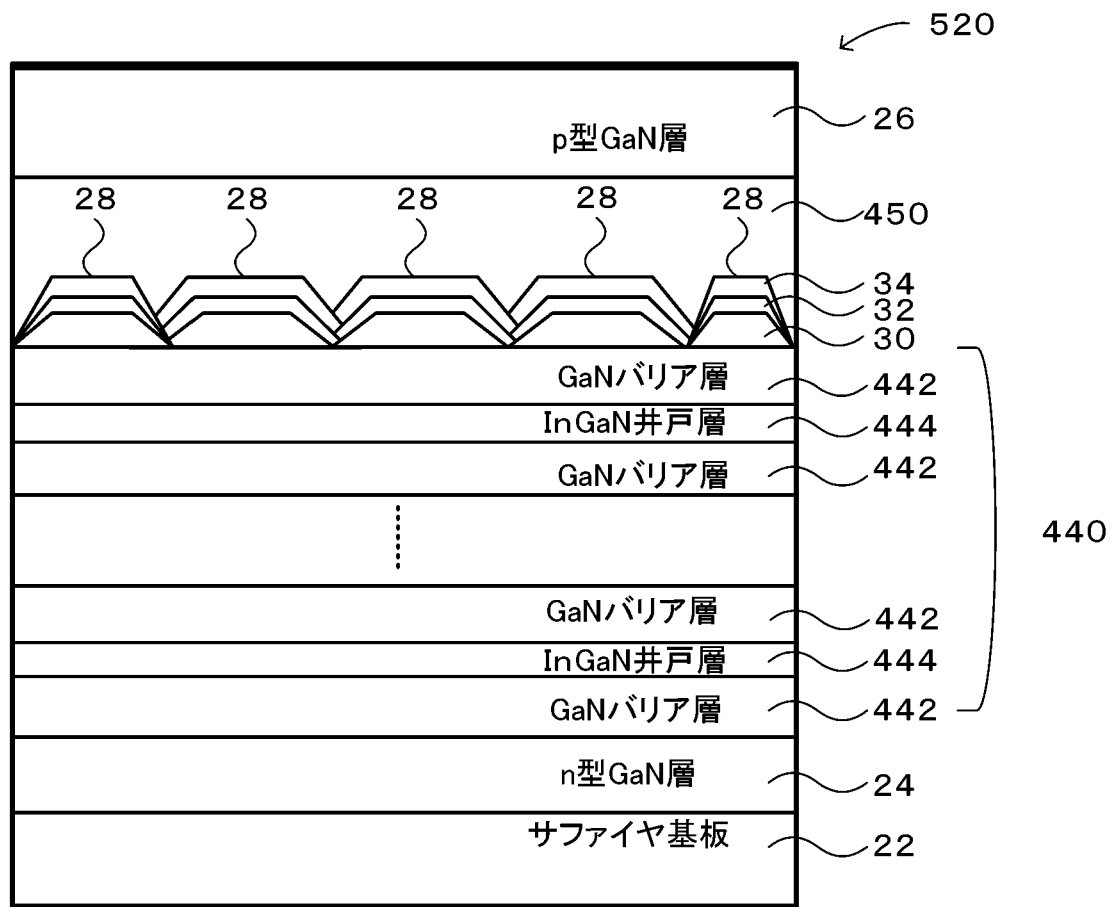
[図23]



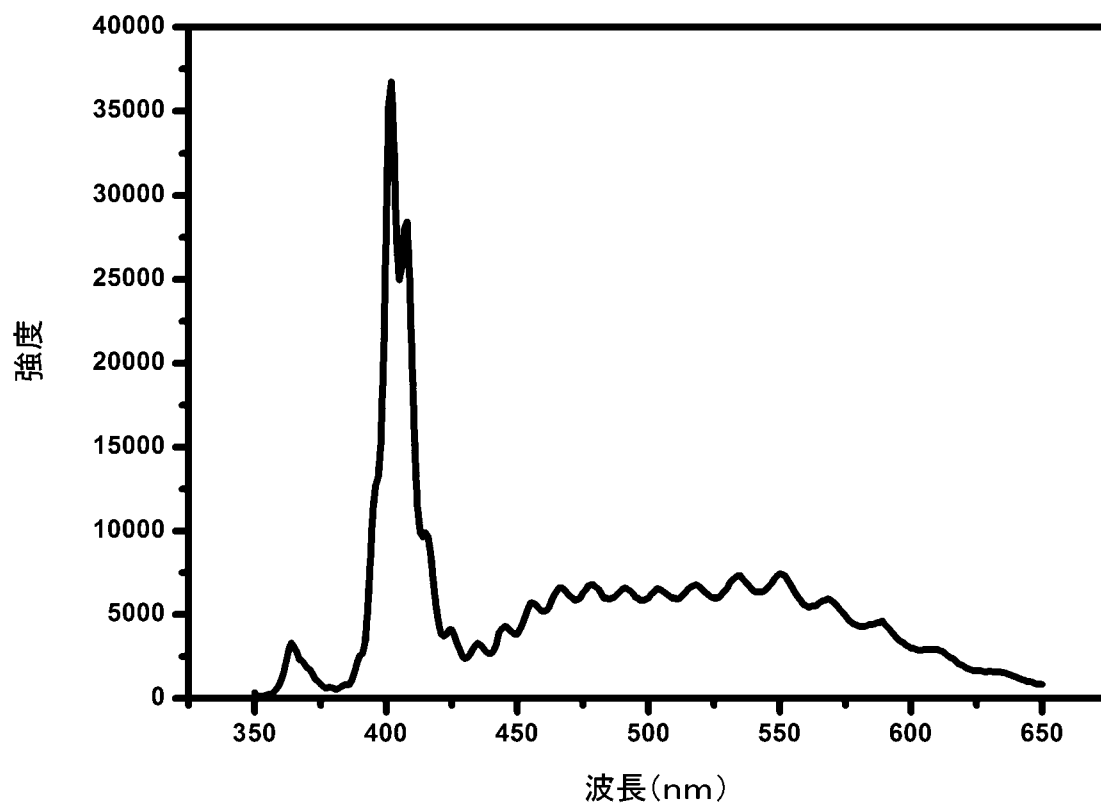
[図24]

層	分圧 TMG (hPa)	分圧 TMA (hPa)	分圧 TEG (hPa)	分圧 TMI (hPa)	分圧 Cp2Mg (hPa)	分圧 NH ₃ (hPa)	分圧 SiH ₄ (hPa)
GaN核発生層	2.65E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.11E+01	0.00E+00
ノンドープGaN層	9.99E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.07E+01	0.00E+00
n型GaN層	1.07E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.35E+01	2.82E-05
低ドープn型GaN層	9.84E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.54E+01	2.61E-05
GaN/バリア層	0.00E+00	0.00E+00	1.94E-02	0.00E+00	0.00E+00	1.20E+02	1.19E-05
InGaN井戸層	0.00E+00	0.00E+00	1.84E-02	1.14E-02	0.00E+00	1.13E+02	0.00E+00
AlN層	0.00E+00	1.22E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.33E+02	1.32E-05
InGaN層	0.00E+00	0.00E+00	1.21E-02	4.74E-02	0.00E+00	1.25E+01	0.00E+00
AlGaN電子ブロック層	7.88E-03	6.67E-04	0.00E+00	0.00E+00	4.78E-04	5.74E+01	0.00E+00
P型GaN層	2.11E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-03	4.30E+01	0.00E+00

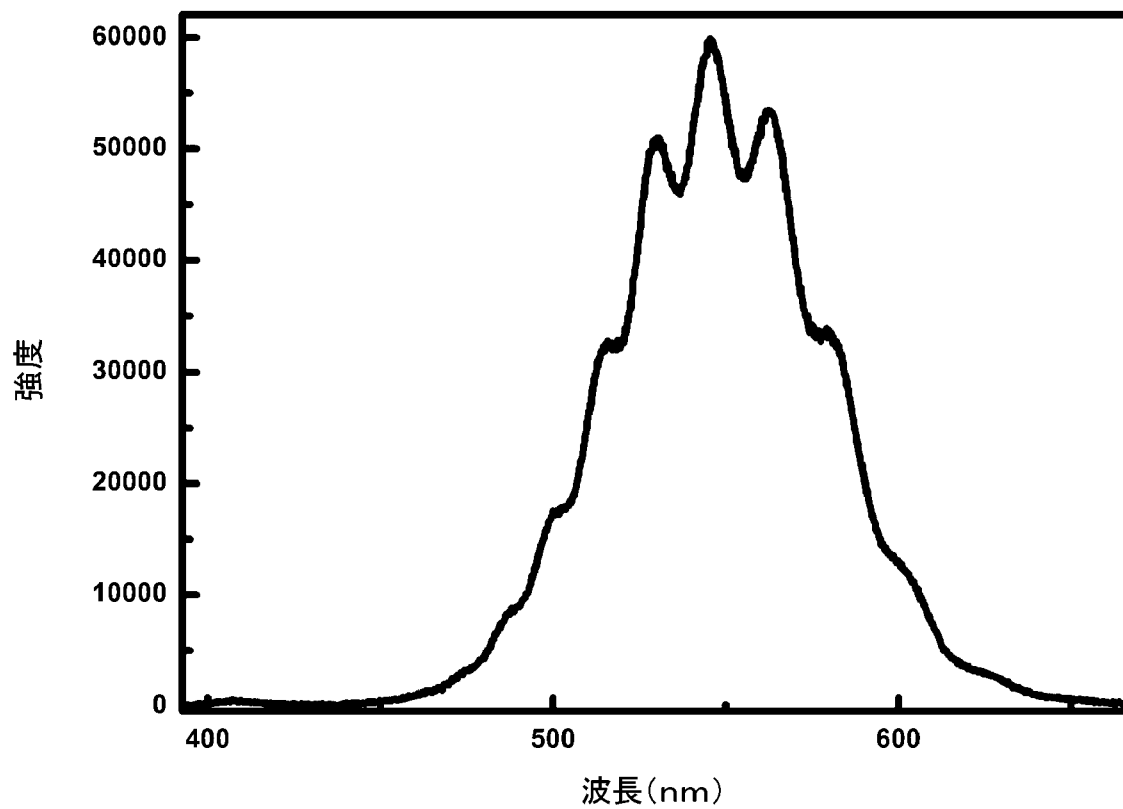
[図25]



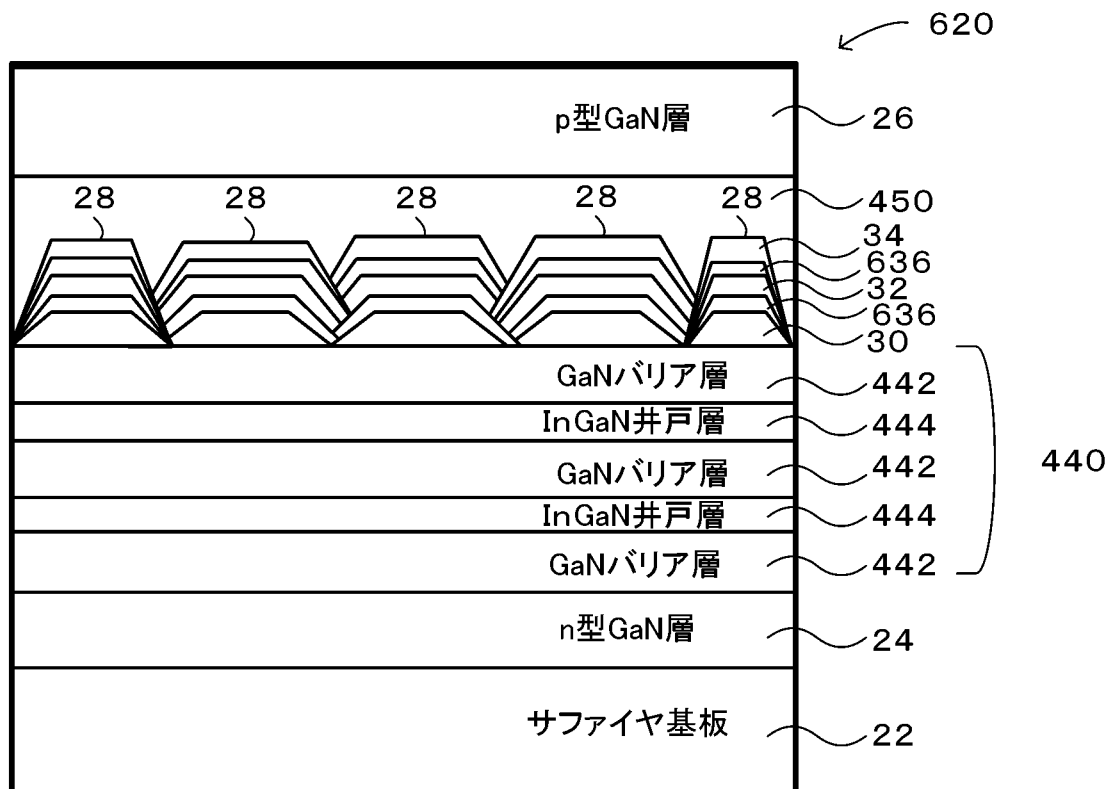
[図26]



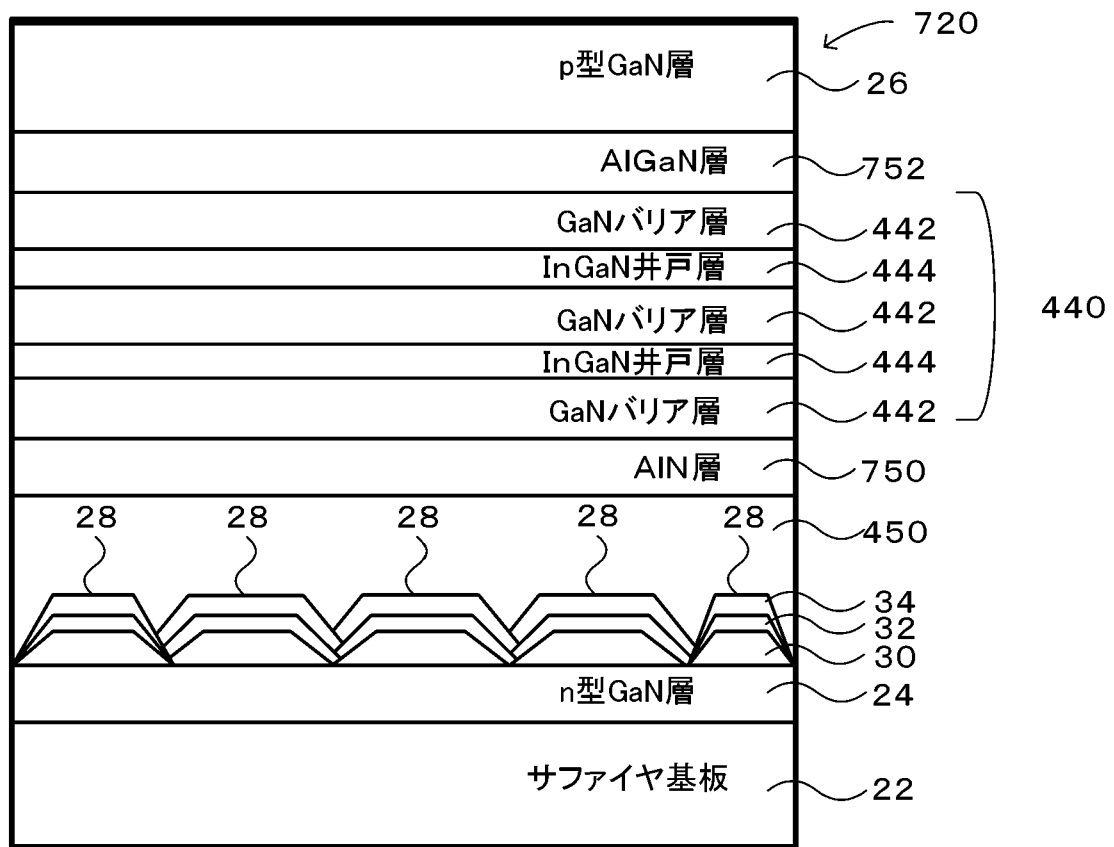
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 014 / 052670

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/22 (2010.01) i, H01L21/205 (2006.01) i, H01L33/12 (2010.01) i, H01L33/32 (2010.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L33/00-33/64, H01L21/205

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2014
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2014	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2008-091962 A (Rohm Co., Ltd.), 17 April 2008 (17.04.2008), paragraphs [0011] to [0022]; fig. 1 (Family: none)	9-10, 13 11-12, 14 1-8
Y	JP 2001-274096 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 05 October 2001 (05.10.2001), paragraphs [0050] to [0088]; fig. 1, 3 6 US 2001/0035531 A1 & US 2003/0173560 A1	11-12, 14
X Y A	US 2011/0006283 A1 (Kyung Jun KIM), 13 January 2011 (13.01.2011), paragraphs [0016] to [0041]; fig. 1 & US 2008/0315178 A1 & KR 10-2009-0002195 A & KR 10-2009-0002196 A	9-13 14 1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 April, 2014 (07.04.14)Date of mailing of the international search report
15 April, 2014 (15.04.14)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A . 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L33/22 (2010. 01) i, H01L2 1/205 (2006. 01) i, H01L33/12 (2010. 01) i, H01L33/32 (2010. 01) i

B . 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L33/00-33/64, H01L2 1/205

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 — 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 — 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 — 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 — 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー水	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2008-091962 A (ローム株式会社) 2008. 04. 17, 【0 0 1 1】 — 【0 0 2 2】、図 1】 (ファミリーなし)	9-10, 13 11-12, 14 1-8
Y	JP 2001-274096 A (三洋電機株式会社) 2001. 10. 05, 【0 0 5 0】 — 【0 0 8 8】、図 1】、図 3】 & US 2001/0035531 A1 & US 2003/0173560 A1	11-12, 14
X	US 2011/0006283 A1 (Kyung Jun KIM) 2011. 01. 13,	9-13

☒ c 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「F」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 — 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

下村 一石

2 K

3 8 1 0

電話番号 0 3 — 3 5 8 1 — 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	[0016] - [0041] , FIG. 1 & US 2008/0315178 AI & KR 10-2009-0002195 A & KR 10-2009-0002196 A	14 1-8